OM

TRYCKETS INFLYTANDE PÅ DET ELEKTRISKA LEDNINGSMOTSTÅNDET HOS METALLER

SAMT

EN NY METOD ATT MÄTA HÖGA TRYCK.

AKADEMISK AFHANDLING

SOM MED TILLSTÅND AF

FILOSOFISKA FAKULTETENS I UPSALA

MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR

ERHÅLLANDE AF FILOSOFISK DOKTORSGRAD

FRAMSTÄLLES TILL OFFENTLIG GRANSKNING

Å FYSISKA LÄROSALEN

ONSDAGEN DEN 3 DECEMBER 1902 KL. 10 F. M.

AF

ERIK LISELL

FILOSOFIE LICENTIAT AF VESTMANLANDS-DALA LANDSKAP.

OM

TRYCKETS INFLYTANDE PÅ DET ELEKTRISKA LEDNINGSMOTSTÅNDET HOS METALLER

SAMT

EN NY METOD ATT MÄTA HÖGA TRYCK.

AKADEMISK AFHANDLING

SOM MED TILLSTÅND AF

FILOSOFISKA FAKULTETENS I UPSALA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR

ERHÅLLANDE AF FILOSOFISK DOKTORSGRAD

FRAMSTÄLLES TILL OFFENTLIG GRANSKNING

Å FYSISKA LÄROSALEN

ONSDAGEN DEN 3 DECEMBER 1902 KL. 10 F. M.

AF

ERIK LISELL

FILOSOFIE LICENTIAT AF VESTMANLANDS-DALA LANDSKAP.

UPSALA 1902
AKADEMISKA BOKTRYCKERIET
EDV. BERLING.

Innehållsförteckning.

Sid.

I. Historik . . . . . 1.

II. Orienterande undersökningar . . . . . 9.

Metod I . . . . . 9.

Metod II . . . . . 13.

III. Tryckets inflytande på motståndet hos manganin. En ny metod att mäta höga tryck . . . . . 17.

A. Absoluta bestämningar af tryckkoefficienten.

1. Tryckapparaten . . . . . 17.

2. Den Wheatstone'ska bryggan . . . . . 21.

3. Försök, observationer och resultat . . . . . 22.

B. Jämförande undersökningar öfver manganintrådar af olika slag . 28.

1. Tryckapparaten . . . . . 28.

2. Försöksanordning . . . . . 30.

3. Observationer och resultat . . . . . 34.

IV. Undersökning af några rena metaller och legeringar till 3000 atmosfärers tryck . . . . . 45.

1. Metod, observationer och resultat . . . . . 45.

2. Jämförelse med förut erhållna resultat . . . . . 53.

V. Försök att bestämma tryckkoefficienten för det specifika ledningsmotståndet . . . . . 55.

Zusammenfassung . . . . . 59.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548913_0061

I. Historik.

De förändringar i det elektriska ledningsmotståndet, som framkallas vid *elastiska deformationer* af metalliska ledare, hafva varit föremål för undersökningar af ett flertal experimentatorer. Redan 1855 uppvisade Mousson[1], att motståndet hos trådar af järn och koppar vid *sträckning* temporärt *ökas*, och att ökningen är större, än att densamma kan förklaras såsom beroende endast på förändringen i trådarnas längd och genomskärningsarea. Sträckningens inflytande har sedermera studerats af Mac Gregor[2], de Marchi[3], Chwolson[4], Angelini[5], Götz och Kurz[6], Cantone[7] m. fl.; utförligast har dock frågan behandlats af Tomlinson[8], hvarför vi kunna begränsa oss till att här omnämna endast *hans* resultat. De af Tomlinson undersökta ämnena voro: järn, stål, koppar, platina, zink, silfver, nickel, aluminium, bly, tenn, messing, nysilfver och platina-silfver. För samtliga dessa ämnen, undantagandes nickel och aluminium, fann han, att motståndet, såväl det specifika som det direkt uppmätta, vid sträckning *ökas* ungefär proportionelt mot belastningen. För nickel minskades respektive motstånd vid små belastningar, men ökades vid större, under det att för aluminium det direkt uppmätta motståndet altid ökades, medan det specifika däremot minskades. I förhållande till belastningens storlek voro resp. förändringar störst för bly, tenn, zink och silfver, i den ordning de nu nämnts, men i förhållande till den relativa längdförändringen voro de störst för järn, platina och stål. För legerin-

[1] Wiedemann, Galvanismus, 2 Aufl. Bd. 1 § 207.
[2] Mac Gregor, Beibl. *1*., p. 292.
[3] de Marchi, Beibl. *5*, p. 680.
[4] Chwolson, Rep. der Physik, *19*, p. 153, 1883.
[5] Angelini, Beibl. *9*, p. 130.
[6] Götz u. Kurz, Rep. der Physik, *20*, p. 739, 1884; *21*, pp. 87, 683, 1885.
[7] Cantone, Beibl. *21*, p. 746.
[8] Tomlinson, Phil. Trans. *174*, p. 39, 1883.

garna voro förändringarne i det specifika ledningsmotståndet mycket mindre än för de rena metallerna. Vid sträckning af tunna metallbleck i en riktning, som var *vinkelrät* mot strömriktningen, erhölls en *minskning* i det specifika motståndet, som mestadels var många gånger större än den motsvarande ökningen vid longitudinel sträckning. — Då de uppmätta motståndsändringarna till större delen förorsakades af förändringarna i längd och genomskärningsarea, och då dessa förändringar på grund af den stora osäkerheten i de använda värdena på POISSON's konstant ej kunnat noggrannt beräknas, äro dock de beräknade *kvantitativa* förändringarna i det specifika ledningsmotståndet ganska osäkra.

Att äfven vid trådars *torsion* motståndet undergår en förändring har uppvisats af COLOMAN DE SZILY[1], som vid försök med konstantan- och nickelintrådar funnit, att inom elasticitetsgränsen motståndet *växer* proportionelt mot torsionsvinkeln.

Enklare än i förut nämda fall ställa sig förhållandena, när en ledare utsättes för ett *allsidigt (hydrostatiskt) tryck*. Ledarens form förblir då oförändrad, och det är endast dess volym, som varierar; om ledaren förut varit isotrop, förblir den fortfarande isotrop. En annan fördel ligger däri, att äfven vid de högsta tryck permanenta volymsändringar ej inträda, i det att, såsom SPRING[2] uppvisat, vid allsidig kompression en elasticitetsgräns ej finnes; vid tryckets upphäfvande återtager en fast kropp i likhet med en vätska *exakt* sin förra volym[3].

Om än förhållandena, teoretiskt sedt, sålunda äro enklare vid allsidig kompression, så äro dock de praktiska svårigheter, som möta, då man vill bestämma de af trycket framkallade motståndsändringarnes storlek, betydligt större. I synnerhet vållar den *temperaturhöjning*, som i regel åtföljer kompressionen, svårigheter. De försök, som gjorts att bestämma tryckets inverkan, hafva också endast delvis lyckats.

Det första försöket gjordes 1859 af WARTMANN[4]. Han tog en mjuk koppartråd af 1,3 mm diameter och utsatte den först för 9 atmosfärers tryck i en piezometer utan att dock därvid kunna förmärka någon förändring i dess motstånd. Han införde den då

[1] COLOMAN DE SZILY, Journ. de Phys. (3) *8*, p. 329, 1899.

[2] SPRING, Rapports prés. au Congrès Internat. de Phys., Tom 1, p. 402, 1900.

[3] Naturligtvis förutsättes härvid, att kroppen är fri från porer och hålrum, enär ju trycket i annat fall, strängt taget, ej verkar allsidigt.

[4] WARTMANN, Biblioth. Univ. Arch. des Sciences Phys. IV, p. 12, 1859.

mellan ett par med guttaperka beklädda stålskifvor, hvilka anbringats mellan plattorna i en hydraulisk press; vid sammanpressning erhölls en *ökning* i trådens motstånd, som vid tryckets upphörande åter försvann. Detta försök är emellertid föga bevisande; dels togs ingen hänsyn till den temperaturändring, som otvifvelaktigt åtföljde kompressionen, dels kunde det åstadkomna trycket knappast verka hydrostatiskt.

Frågan upptogs därför af CHWOLSON[1]. Han inneslöt den tråd, som skulle undersökas, i en piezometer, som tillät 60 atmosfärers tryckstegring. Temperaturändringar vid kompressionen sökte han undvika genom att hålla piezometervattnets temperatur i närheten af + 4°, vid hvilken temperatur vattnets dilatationskoefficient är = 0, och följaktligen, enligt en bekant sats, värmeutvecklingen vid en adiabatisk kompression = 0. CHWOLSON kom i motsats till WARTMANN till det resultat, att motståndet temporärt *minskas* med trycket, och den relativa förändringen per atmosfär (tryckkoefficienten) fann han vara för

Koppar	Bly	Messing
−0,0000013	−0,000012	−0,0000011

Då förändringarna i trådens längd och genomskärningsarea i och för sig skulle medföra en ökning i motståndet, blir allså minskningen i det *specifika* motståndet ännu större. Med den undersökta messingtråden utförde CHWOLSON äfven några sträckförsök och af dessa trodde han sig kunna sluta, att förhållandet mellan ändringen i specifikt ledningsmotstånd och ändringen i volym är vid longitudinel sträckning och allsidig kompression detsamma. Att detta resultat dock är ganska osäkert, framhålles äfven af CHWOLSON själf, hufvudsakligen på den grund, att, då temperaturändringar vid kompressionsförsöken ej kunnat fullständigt undvikas, det erhållna värdet på tryckkoefficienten är osäkert; de beräknade volymsändringarna torde dock vara ännu osäkrare.

I sammanhang med sina undersökningar öfver sträckningens inverkan har TOMLINSON[2] äfven gjort några försök att bestämma *tryckets* inverkan på metallernas ledningsmotstånd. Hans tillvägagångssätt var i princip identiskt med det, som CHWOLSON användt, och äfven han fann, att för de af honom undersökta metallerna, koppar och järn, motståndet *minskades* med trycket.

---

[1] CHWOLSON, Carl's Rep. d. Phys. *18*, p. 253, 1882.

[2] TOMLINSON, l. c., p. 70.

Frågan har slutligen på senare tid blifvit behandlad af Lussana[1]. Hans tillvägagångssätt var följande. Tråden, som skulle undersökas, inneslöts i cylindern till en Cailletet's apparat, medels hvilken tryck till 1000 atmosfärer kunde åstadkommas. Temperaturen hos den i cylindern inneslutna tråden sökte han hålla reda på med tillhjälp af ett termoelement, som var inrättadt på följande sätt. Ett rör[2], bestående af en legering, benämd packfong, insattes i stället för det till apparaten hörande glasröret i den messingfattning, medels hvilken glasröret plägar anbringas vid apparatens järncylinder, och isolerades elektriskt från densamma genom ett ebonitrör. Metallröret var i sin nedre ände genom lödning tillslutet och i lödstället var en i röret uppifrån instucken isolerad kopparträd fastlödd. Rörets nedre slutna ände, som alltså befann sig i cylinderns inre, utgjorde termoelementets ena lödställe; det andra erhölls genom att löda en kopparträd vid rörets utanför cylindern varande ände. Försökstråden, som var upplindad på en ebonitstaf längs två skrufformiga fåror å densamma, fastlöddes med sin ena ända vid det omtalade röret; med den andra stod den genom messingfattningen i ledande förbindelse med apparatens öfriga delar. Ebonitstafven uppbars af röret, på hvad sätt framgår ej af den kortfattade beskrifningen, men åtgärder synas hafva vidtagits i syfte, att lödstället skulle antaga den använda *tryckvätskans* temperatur. Järncylinderns inre var fyldt med olja, och det hela var nedsatt i ett vattenbad af omkring 10 liters rymd I samma vattenbad befann sig termoelementets andra lödställe; dess temperatur aflästes medels en termometer, som var indelad i tiondels grader. Med tillhjälp af termoelementet, hvars angifvelser mättes på vanligt sätt medels galvanometer, ansåg han sig kunna mäta den inneslutna oljans resp. trådens temperatur på 0,01 grad när. Sedan trådens temperaturkoefficient blifvit bestämd, reducerades trådens motstånd vid olika tryck till en och samma temperatur. Motståndsbestämningarna utfördes med tillhjälp af en Wheatstone's brygga, på hvad sätt angifves ej närmare; det relativa felet i dessa mätningar anser han ej öfverskrida 0,00001. Vid sina försök lät han, i och för kompressionsvärmets afgifvande, i regel en timme förflyta mellan tryckändringen och följande motståndsbestämning, men han har äf-

[1] Lussana, Nouv. Cim. (4) *10*, p. 73, 1899.

[2] Rörets yttre och inre diameter äro ej angifna; vid ett annat tillfälle användes ett kopparrör, hvars yttre diameter var 6,7 mm och inre diameter 3,4 mm; jfr Lussana, Nuov. Cim. (4) *5*, p. 360, 1897.

ven utfört några försök, då motståndsändringen uppmätts omedelbart efter tryckändringen och följts en längre tid därefter.

Lussana kom vid sina undersökningar till följande resultat. När en metalltråd utsättes för ett allsidigt tryck, inträffar genast en *minskning* i dess motstånd. Denna minskning åtföljes af en till en början hastig och sedan långsammare återgång mot det ursprungliga motståndet, utan att detta likväl fullständigt uppnås. Vid tryckets upphäfvande inträffar på motsvarande sätt plötsligt en ökning i motståndet, hvilken småningom återgår, så att motståndet slutligen blir detsamma, som det varit före kompressionen. En förändring i trycket medför alltså *två* slags verkningar: dels en öfvergående (af Lussana benämd »*temporär*») förändring, dels en med trycket kvarstående (»*permanent*»). Den förra är många gånger större än den senare; den förra är beroende på, huru länge det föregående trycktillståndet varat, den senare endast på tryckvariationens storlek. Har det föregående tillståndet varat endast en kortare tid (t. ex. en timme), antager tråden relativt snart (efter ungefär en timme) sitt jämvigtstillstånd; däremot uppnås detta mycket senare (efter 10 à 12 timmar) och först efter flere oscillationer omkring det slutliga jämvigtstillståndet, i fall det föregående tillståndet varat en längre tid (t. ex. en eller flere dagar). Tryckkoefficienten för de »permanenta» förändringarna fann han, såsom ofvan antydts, för samtliga undersökta ämnen vara *negativ*. Dess storlek aftog i de flesta fall starkt med trycket, och för legeringarna var den mycket mindre än för de rena metallerna. Detta framgår

	Tryckkoeff. vid 100 atm.	Tryckkoeff. vid 700 à 900 atm.
Järn	38.10^{-7}	16.10^{-7}
Silfver	— 32	— 27
Nickel	— 19	— 6
Bly	— 200	— 90
Koppar	— 31	— 9
Platina	— 24,0	— 8,2
»	— 15,5	— 8,6
Nickelin	7,4	4,1
Manganin	— 5,6	— 2,0
Konstantan	— 7,9	— 2,8
Argentan	— 9,7	4,3
Messing	— $4,3.10^{-7}$	— $3,8.10^{-7}$

för öfrigt af ofvanstående tabell, där LUSSANA's värden på tryckkoefficienten äro angifna för de lägsta och högsta använda trycken.

En del af LUSSANA's resultat, i synnerhet de funna »temporära» förändringarna i motståndet, förefalla redan *a priori* osannolika, och granskar man hans försöksanordning något närmare, blir deras opålitlighet uppenbar. Man finner då åtminstone två felkällor, som hvar för sig kunnat medföra oberäkneliga fel i resultaten. Den ena består i bristfällig isolation af försöksmotståndet Visserligen hade LUSSANA, i och för trådens isolerande, omgifvit densamma med olja, men han förbisåg, att trådens ändpunkter genom järncylindern och det till termoelementet hörande metallröret stodo i ledande förbindelse med det omgifvande vattnet; röret, vattnet och järncylindern bildade då tillsammans ett galvaniskt element, som var insatt i shuntledning till tråden. Den andra felkällan ligger i opålitligheten af det använda termoelementets angifvelser. Att nämligen termoelementet under det variabla tillstånd, som närmast följde efter en tryckändring, icke riktigt kunnat angifva trådens temperatur, framgår omedelbart, när man betänker, att *trådens* och *oljans* genomsnittstemperatur i allmänhet måst vara *olika*, emedan tråden var upplindad på ebonitstafven och alltså hade i det närmaste samma temperatur som denna, samt att termoelementet på grund af sin stora värmekapacitet och värmeledningsförmåga hastigt utjämnat temperaturen i de närmast liggande delarne af vätskan och följaktligen icke ens kunnat angifva *oljans* genomsnittstemperatur riktigt. Då nu den tryckändringen åtföljande temperaturförändringen hos oljan är så stor, att dess inverkan på trådens motstånd uppgår till ett belopp, som i allmänhet är många gånger större än tryckändringens egen inverkan, så måste fel i temperaturbestämningarna medföra oerhörda fel i resultaten. De af LUSSANA funna »temporära» förändringarna i motståndet låta åtminstone delvis häraf förklara sig. Men då sannolikt ännu flere felkällor influerat på resultaten, är det tydligt, att man af LUSSANA's försök icke kan draga några säkra slutsatser angående tryckets inverkan på metallernas ledningsmotstånd.

Det återstår till sist att omnämna de försök, som af LENZ[1], BARUS[2] och DE FOREST PALMER, JR.[3] gjorts att bestämma *kvick-*

[1] LENZ, Beibl. *6*, p. 802, 1882.

[2] BARUS, Amer. Journ. of Sc. (3), *40* p. 219, 1890.

[3] DE FOREST PALMER, JR., Amer. Journ. of Sc., (4), *4*, p. 1, 1897.

silfrets motståndsändring vid kompression. De hade kvicksilfret inneslutet i ett fint glasrör, som vid ändarna var utblåst till ett par större kulor, i hvars väggar platinatrådar voro insmälta. Värdet på tryckkoefficienten fann LENZ vara $-0{,}0002$ mellan 1 och 60 atmosfärers tryck, BARUS $-0{,}00003$ mellan 1 och 400 atmosfärer. PALMER utsträckte sina undersökningar till 2000 atmosfärer, hvarvid trycket åstadkoms medels en BARUS' skrufkompressor, och tryckmätningarna utfördes med tillhjälp af en AMAGAT's manometer »à pistons libres». Motståndsändringarna voro inom det undersökta tryckområdet proportionela mot tryckändringarna, och tryckkoefficienten γ fann han vara

vid 9^0 $\gamma = -0{,}00003324 \pm 0{,}00000014$
» 100^0 $\gamma = -0{,}00003367 \pm 0{,}00000019$

Dessa värden äro äfven korrigerade för glasets kompressibilitet, under antagande att kompressionskoeffienten är $=0{,}0000025$; de uttrycka altså förändringen i det *specifika* ledningsmotståndet. Genom PALMER's undersökning kan man anse tryckkoefficienten för kvicksilfver vara temligen noga bestämd; den stora afvikelsen i LENZ' värde förklarar han bero på närvaron af luftblåsor i röret.

PALMER[1] har sedermera föreslagit användning af kvicksilfrets motståndsändring vid kompression till mätning af höga tryck och äfven gjort några försök för utrönande af metodens noggrannhet. Röret med kvicksilfret har han därvid inneslutit i en stålcylinder hvilken, för erhållande af konstant temperatur, var omgifven af smältande is. Af sina försök slöt han, att motståndsändringarna med trycket kunde bestämmas på 0,1 % när, och att således äfven relativa tryckbestämningar kunde utföras med samma noggrannhet.

När förf., på uppmaning af Prof. ÅNGSTRÖM, började sina undersökningar öfver tryckets inverkan på metallernas ledningsmotstånd, hade PALMER's och LUSSANA's arbeten ännu icke publicerats. Ämnet var alltså temligen obearbetadt. De första, orienterande undersökningarna ledde snart till insigt om, att man med fördel skulle kunna betjäna sig af motståndets förändring med trycket hos vissa legeringar för *mätning* af höga tryck. Ett förelöpande meddelande om denna tryckmätningsmetod publicerades i

[1] DE FOREST PALMER, JR., Amer. Journ. of Science, (4), *6*, p. 451, 1898.

Öfversigt af Kongl. Vetenskapsakademiens Förhandlingar 1898, samtidigt som PALMER's senaste arbete utkom; de båda metoderna äro således tillkomna fullkomligt oberoende af hvarandra. En god del af de följande undersökningarna hafva sedan egnats åt ett närmare utredande af den föreslagna tryckmätningsmetodens användbarhet. Då redan de orienterande undersökningarne gifvit flere resultat, som stodo fullkomligt i strid med de af LUSSANA funna, framstod behofvet af en noggrannare allmän undersökning af tryckets inverkan på metallernas elektriska ledningsförmåga; med användande af nyssnämda tryckmätningsmetod har jag därför i nämda afseende undersökt några metaller och legeringar till 3000 atmosfärers tryck.

Undersökningarna hafva utförts på Upsala Universitets Fysiska Institution. Till Institutionens Prefekt, Herr Professor K. ÅNGSTRÖM, uttalar jag härmed ett varmt och vördsamt tack för den beredvillighet, hvarmed han ställt apparater och instrument till mitt förfogande, för det intresse, hvarmed han följt mitt arbete, samt för de många värdefulla råd och anvisningar, han under arbetets gång gifvit mig. Äfven till Herr Laborator G. GRANQVIST frambär jag ett hjärtligt tack för alla goda råd.

II. Orienterande undersökningar.

Vid de första preliminära undersökningarna användes för åstadkommande af trycket en CAILLETET's pump, som tillät 300 atmosfärers tryckstegring. Trycket bestämdes medels en vanlig BOURDON's metallmanometer, och motståndsändringarna mättes medels galvanometerutslag i WHEATSTONE's brygga på sätt, som nedan skall närmare angifvas. Som man kunde vänta, visade sig snart en af de största svårigheterna vara att på ett tillfredsställande sätt kunna eliminera eller undvika verkan af den temperaturvariation i tryckvätskan, som städse åtföljde tryckändringen. För svårighetens öfvervinnande fanns det två möjligheter; antingen kunde temperaturvariationen observeras, och korrektion anbringas för dess inverkan, eller ock kunde man låta det utvecklade värmet afgifvas t. ex. till ett omgifvande vattenbad, och motståndsändringen bestämmes först efter det temperaturen blifvit densamma som före kompressionen. Den förra metoden hade den fördelen, att motståndsändringen kunde bestämmas omedelbart efter tryckändringen, och sålunda möjliga efterverkningar påvisas, medan den senare däremot kunde lemna säkrare värden på motståndsändringens absoluta storlek. Förf. har pröfvat båda dessa metoder.

Metod I.

Försökstråden, upplindad till en lös, fri spiral, inneslöts i den till CAILLETET's apparat hörande cylindern (fig. 1, pl. I); såsom tryckvätska användes paraffinolja, och temperaturvariationerna i densamma observerades med tillhjälp af ett termoelement. Metoden öfverensstämmer altså i princip med den af LUSSANA använda, ehuru dess praktiska genomförande skedde på ett annat sätt. Tryckapparatens järncylinder A tillslöts medels en 2 cm tjock messingskifva B,

som var försedd med tre hål; i två af dessa voro medels marinlim ledningstrådarna till försökstråden inkittade; i det tredje var på samma sätt inkittadt ett litet glasrör C, som upptill var öppet, men nedtill slutet samt utdraget i ett tunnväggigt kapillärrör, hvars spets D befann sig i jämnhöjd med trådspiralens midt. Termoelementet, som var sammansatt af konstantan och koppar (trådarnas diameter = resp. 0,3 och 0,2 mm), hade sitt ena lödställe i nyssnämnda kapillärspets, hvarigenom detsamma dels blef skyddadt för tryckets inverkan, dels hastigt kunde angifva temperaturvariationerna i den tråden omgifvande vätskan. Det andra lödstället befann sig i ett liknande glasrör, hvilket jämte en med försökstråden identiskt lika tråd var på samma sätt monteradt vid en kork och nedsatt i ett profrör, fyldt med paraffinolja; för erhållande af konstant temperatur hölls profröret nedsänkt i en bägare med vatten. De båda trådarna sammanlöddes med hvarandra och med ett par manganinmotstånd till en WHEATSTONE's brygga, hvars noggranna inställande på noll skedde med tillhjälp af en glidkontakt, som löpte utefter en mellan de båda manganinmotstånden insatt järntråd. I termoelementets ledning var insatt en Lord KELVIN's galvanometer G_1 i bryggan en D'ARSONVAL's G_2; båda galvanometrarnas svängningstid var ungefär tre sekunder. Strömmen till brygganordningen lemnades af ett DANIELL's element.

Försöken utfördes på följande sätt. Genom att, om så behöfdes, något ändra temperaturen hos vattnet i bägaren bragtes först termoelementets galvanometer att approximativt intaga sitt nolläge; därefter inställdes bryggan på noll. Trycket, som förut varit en atmosfär, höjdes nu till p atmosfärer. På grund af den därvid uppstående temperaturhöjningen hos vätskan gjorde galvanometern G_1 ett utslag, hvilket aftog i samma mån som det utvecklade värmet afgafs till järncylindern. Då temperaturutjämningen försiggick mycket långsamt, kan man approximativt antaga, att temperaturhöjningen hos vätskan är i hvarje ögonblick proportionel mot utslaget af galvanometern G_1. Ett liknande utslag gjorde galvanometern G_2. Motståndsändringen hos tråden, som är proportionel mot utslaget, utgör en summa af två termer, af hvilka den ena är beroende af temperaturhöjningen och proportionel mot denna, den andra af tryckändringen. De båda galvanometrarnas utslag observerades efter metronom hvar tionde sekund, till dess temperaturutjämningen försiggått nära nog helt och hållet; den härför erforderliga tiden uppgick till 15 à 20 minuter. Där-

efter öppnades ventilen å apparaten, så att trycket fick utjämnas till en atmosfär. De båda galvanometrarna gjorde nu till följd af den därvid uppstående temperatursänkningen hos tryckvätskan ett utslag åt motsatt håll. Under den följande temperaturutjämningen observerades galvanometerutslagen på samma sätt som förut. Genom interpolation reducerades sedan observationerna å termoelementets galvanometer till samtidighet med observationerna å den andra galvanometern.

Afsättas utslagen å galvanometern G_1 såsom abscissor och utslagen å G_2 såsom ordinator, erhålles för hvardera observationsserien en följd af punkter, som i det närmaste ligga på en rät linie. De vid olika tryck erhållna linierna äro parallela med hvarandra. Den konstanta skilnaden mellan ordinatorna är då tydligen lika med det utslag å galvanometern G_2, som motsvarar den genom trycket framkallade motståndsändringen. Då motståndsändringarna äro proportionela mot galvanometerutslagen, kan man genom att i samma gren af bryggan införa en bekant motståndsändring och observera det därvid erhållna galvanometerutslaget erhålla motståndsändringen i absolut mått.

Tabell I innehåller de observationer, som vid ett dylikt försök erhållits för en *koppar*tråd af ungefär 2 meters längd och 0,2 mm diameter. Det använda trycket var = 300 atm., och de första observationerna i hvarje serie togos ungefär 2 minuter efter respektive tryckändringar. Galvanometrarnas nollpunkter före försökets början voro för G_1 300,1 och för G_2 246,0

Samma observationer äro på nyss beskrifna sätt återgifna i pl. II. Punkten O angifver läget af galvanometrarnas nollpunkter vid försökets början; linien AB återgifver observationerna vid 300 atmosfärers tryck, CD vid en atmosfär. Som man finner, äro de båda linierna nästan fullkomligt räta och parallela; den konstanta skilnaden i ordinatorna utgör ungefär − 10 skaldelar. Vid tryckets höjande till 300 atmosfärer inträffar altså en *minskning* i motståndet, motsvarande 10 skaldelars utslag; vid tryckets upphäfvande återgår motståndet till sitt förra värde. Visserligen ligger O ej exakt på CD, liksom ej häller en del af punkterna i närheten af A och C strängt taget ligga på linierna AB och CD; dessa afvikelser äro emellertid af tillfällig art och kunna förklaras såsom beroende på en liten differens mellan den i cylindern inneslutna trådens temperatur och lödställets temperatur. Vid andra tillfällen, då tråden innehade ett något förändradt läge i förhål-

lande till lödstället, kunde denna differens byta tecken och således åstadkomma motsatta verkningar i afseende på punkternas läge.

Tabell 1.

300 atmosfärer		1 atmosfär	
G_1	G_2	G_1	G_2
578,5	458,8	71,5	60,4
568,8	449,0	80,4	69,3
558,0	438,8	90,7	79,0
548,7	429,0	101,8	88,7
535,2	419,0	113,3	98,0
523,9	409,5	124,7	107,2
512,6	400,3	135,9	115,8
501,5	391,4	146,5	124,2
490,9	382,5	156,8	132,0
480,8	374,0	166,5	139,5
471,1	366,3	175,6	146,3
461,6	358,8	184,0	152,7
452,7	351,6	192,0	158,6
444,4	344,6	199,3	164,0
436,4	338,0	——	——
428,8	331,8	258,5	209,8
——	——	261,1	211,8
363,0	280,8	263,4	213,6
359,2	278,0	265,4	215,3
355,7	275,3	267,3	217,0

Vid ofvan beskrifna experiment hade tråden en längre tid förut befunnit sig i hvila. Omedelbart efter detta första experiment företogs ett andra med samma resultat; de erhållna linierna sammanföllo nästan fullkomligt med de förut erhållna. Till liknande resultat har jag kommit vid undersökning af *järn, bly, nickel och messing.*

Dessa försök bevisa altså klart, att de *stora* »temporära» förändringar i motståndet, som LUSSANA funnit åtfölja hvarje tryckändring, i verkligheten *icke* existera. De synas tvärtom angifva, att *motståndsändringen inträffar momentant med tryckändringen och sedan förblir konstant;* att så i allmänhet är förhållandet synes

ännu tydligare framgå ur de i det följande beskrifna försök, som gjorts med legeringar med liten temperaturkoefficient.

Vid de försök, som gjordes i afsigt att *kvantitativt* bestämma tryckkoefficienten γ, ökades känsligheten såväl hos termoelementet som hos brygganordningen. Såsom värde på tryckkoefficienten erhölls för *koppar* $\gamma = -0{,}0000018$ och för *bly* $\gamma = -0{,}0000126$. Då det emellertid på grund af en alltid förefintlig differens mellan lödställets och trådens temperatur visade sig vara omöjligt att med denna metod kunna fullständigt eliminera temperaturvariationernas inverkan, öfvergick jag till den andra metoden.

Metod II.

För att den kompressionen åtföljande temperaturändringen skulle utjämnas så hastigt som möjligt, inneslöts försökstråden i ett långt, smalt, med CAILLETET's apparat i förbindelse stående messingrör, hvilken hölls nedsänkt i ett vattenbad af rumstemperatur. Röret var 2 m långt, dess inre diameter = 5 mm och yttre diameter = 14 mm. Försökstråden, som förut fernissats, fastlöddes vid rörets ena ända; den andra ändan af tråden fastlöddes vid en gröfre koppartråd, som medels märinlim var inkittad i en ebonitskifva, hvilken med tillhjälp af en mutter tillslöt rörets andra ända. Rörets förstnämnda ända var gängad och kunde omedelbart sättas i förbindelse med det till CAILLETET's pump gående kopparröret. Såsom förut mättes motståndsändringarna medels galvanometerutslag i WHEATSTONE's brygga under ständigt sluten ström- och galvanometerledning. För att om möjligt eliminera de af strömmen framkallade värmeverkningarna anordnades bryggan så symmetriskt som möjligt. Såsom jämförelsemotstånd användes därför en med försökstråden identiskt lika tråd, innesluten i ett med paraffinolja fyldt messingrör af samma dimensioner som det förra. De båda rören lågo tätt bredvid hvarandra nedsänkta i samma vattenbad i en zinklåda om circa 50 liters rymd. Jämförelsemotståndet var isoleradt från det omgifvande röret och stod med sin ena ända medels en gröfre isolerad koppartråd i förbindelse med det andra messingröret. De båda öfriga grenarna i den WHEATSTONE'ska bryggan utgjordes af ett par manganinmotstånd, på samma sätt som i föregående metod förenade genom en tråd med glidkontakt. Förbindelsen mellan

bryggans olika delar åstadkoms medels grofva koppartrådar, hvilka på de ställen, där de passerade genom vattenbadet, voro genom kautschukslangar väl isolerade från vattnet. Strömkälla och galvanometer voro de samma som i föregående metod Strömstyrkan i batteriledningen öfverskred sällan 0,1 ampère.

Sedan strömmen någon tid varit sluten, inställdes först bryggan på noll. Försöken utfördes sedan på det sättet, att galvanometerns inställning, efter det temperaturutjämningen försiggått, aflästes vexelvis vid en atmosfärs tryck och vid högre tryck; då motståndsändringen är proportionel mot galvanometerutslaget, behöfdes för dess erhållande i absolut mått endast att i samma gren af bryggan införa en bekant motståndsändring, och observera motsvarande galvanometerutslag. Den bekanta motståndsändringen åstadkoms genom att sluta eller öppna en shuntledning till en del af den nämda grenen i bryggan; den härvid uppkommande motståndsändringen kunde då med kännedom om vederbörande motstånd beräknas[1].

Den tid, som erfordrades för att galvanometerutslaget skulle blifva konstant, varierade för de rena metallerna mellan 15 och 30 minuter, men för legeringar med liten temperaturkoefficient kunde utslaget blifva konstant efter mycket kortare tid, en minut eller mindre. Tvänne successiva galvanometerafläsningar vid en atmosfärs tryck skilde sig från hvarandra vanligen endast på en eller ett par skaldelar, medan hela utslaget uppgick till 30 à 100 skaldelar.

Enligt denna metod har jag undersökt *koppar*, *zink*, *nickel*, *bly*, *nysilfver* och *manganin* samt en serie *legeringar* mellan *koppar* och *mangan*. Undersökningsmaterialet har för de nämda metallerna samt för nysilfver utgjorts af i handeln förekommande tråd af dessa ämnen. Manganin och koppar-manganlegeringarna hafva genom herrar D:r Fr. och C. Heusler såsom gåfva erhållits från Isabellenhütte i Dillenburg, Hessen-Nassau. Den undersökta manganinsorten var af det slag, som i det följande betecknats med manganin I. Legeringarna, tre till antalet, hade enligt uppgift från leverantörerna följande sammansättning:

	Cu	Mn
Legering n:o 1	99,1 %	0,9 %;
» » 2	95,1 »	4,9 »;
» » 3	92,1 »	7,9 »;

[1] K. Ångström, Öfvers. af K. Vet. Akad. Förhandl. 1888, p. 379.

De erhållna resultaten sammanfattas i följande tabell, där γ betecknar tryckkoefficienten och t försökstemperaturen; därjämte äro uppgifna värdena på trådens diameter d, uttryckt i mm, dess motstånd r och dess temperaturkoefficient α. Trådens längd har alltid varit ungefär 200 cm.

Tabell 2.

	d	r	α	t	γ
Koppar	0,20	1,296	(0,004)	14,3	$-0,0_5152$
Zink	0,42	0,856	(0,004)	14,4	$-0,0_5611$
Nickel	0,25	1,192	0,0041	13,4	$-0,0_5122$
Bly	1,04	0,4847	(0,004)	16,5	$-0,0_4142$
Nysilfver	0,46	3,144	0,00033	13,6	$+0,0_78$
Manganin I a	0,50	4,116	0,00003	15,0	$+0,0_5231$[1]
Leg. n:o 1	0,61	0,3611	0,00105	16,3	$+0,0_5147$
Leg. n:o 2	0,62	1,270	0,000081	20,0	$+0,0_5243$
Leg. n:o 3	0,62	1,849	0,000034	15,3	$+0,0_5258$

Hvart och ett af de i tabellen upptagna värdena på γ utgör ett medelvärde, som erhållits ur ett tjugotal mätningar, utförda vid olika tryck; de enskilda värdena differerade sins emellan endast på några få procent. Trots denna goda öfverensstämmelse måste dock för en del ämnen värdena på γ anses vara mindre tillförlitliga. De följande undersökningarna hafva nämligen ådagalagt tillvaron af en i vissa fall mycket betydande felkälla i den använda undersökningsmetoden. Till denna fråga äfvensom till en mera ingående granskning af de erhållna resultaten återkommer jag senare.

---

[1] Då den till Cailletet's apparat hörande metallmanometern visade sig vara i hög grad otillförlitlig, har en välbehöflig korrektion af dess angifvelser åstadkommits genom beräkning af de verkliga trycken ur de observerade motståndsändringarna hos manganintråden I a; då denna tråd utgjorde omedelbar fortsättning till den manganintråd I c, hvars tryckkoefficient blifvit absolut bestämd enligt i det följande beskrifna metoder, har jag vid tryckens beräkning antagit tryckkooefficienten för densamma vara lika stor som för sistnämda tråd. Vid undersökningen af bly användes en annan manometer, hvars mindre felaktiga angifvelser dock korrigerats på liknande sätt.

För ögonblicket vill jag endast påpeka, att γ är för samtliga undersökta rena metaller *negativ*, men för här undersökta legeringar *positiv*. För de senare *tilltager* altså motståndet med trycket; detta förhållande framträder särskildt starkt för de legeringar, som innehålla mangan. Slutligen har för samtliga undersökta legeringar med liten temperaturkoefficient *frånvaron af större efterverkningar i motståndet efter en tryckändring blifvit konstaterad.*

III. Tryckets inflytande på motståndet hos manganin. En ny metod att mäta höga tryck.

Såsom redan blifvit nämdt visade det sig vid de föregående försöken, att för flere legeringar med liten temperaturkoefficient kompressionsvärmets inverkan på motståndet var obetydlig i jämförelse med tryckets egen inverkan; de erhållna galvanometerutslagen blefvo efter en kort tid, en minut eller mindre, konstanta. Detta var i synnerhet förhållandet med *manganin*, för hvilken legering motståndsändringarna med trycket därför kunde synnerligen noggrannt bestämmas; det var t. o. m. antagligt, att relativt mycket större fel förelågo i tryckbestämningarna. Den tanken låg då nära till hands, att man med fördel skulle kunna betjäna sig af motståndets ändring med trycket hos manganin för *mätning* af höga tryck. Då de metoder för mätning af mycket höga tryck, som man hittills eger, antingen äro mindre noggranna eller ock af den art, att de i många fall ej låta sig användas, ansågs tanken värd att upptagas till pröfning. En af de närmaste uppgifterna blef då att undersöka sambandet mellan motståndsändring och tryck samt att för detta ändamål åstadkomma en apparat, hvarmed man kunde erhålla och mäta tryck, uppgående till några tusen atmosfärer.

A. Absoluta bestämningar af tryckkoefficienten.

1. Tryckapparaten.

De första undersökningarna utfördes med en apparat, som redan förut blifvit på annat ställe[1] beskrifven. Apparaten bestod hufvudsakligen af ett stålblock, sammansatt af tre delar på sådant sätt, att ett cylindriskt rum af 18 mm diameter och 15 mm höjd uppstod i dess inre. I detta rum befann sig den manganintråd, som skulle undersökas, och två tjockare manganintrådar, som medels

[1] Lisell, Öfversigt af K. Vet.-Akad. Förhandl. 1898. p. 697.

marinlim inkittats i ett par till rummet förande hål, satte densamma i förbindelse med en WHEATSTONE's brygga. Uppifrån förde en kanal af 6 mm diameter ned till rummet, och i denna var en stålcylinder noggrannt inslipad. Såsom medium för tryckets fortplantning användes en *fast*, men mjuk och plastisk kropp, nämligen en lämplig blandning af hvitt vax och vaselin. Trycket åstadkoms medels en belastad enarmad häfstång, som tryckte på den ofvannämda cylindern. Det sätt, hvarpå det använda tryckmediet fylde sin uppgift, syntes äfven till en början fullt tillfredsställande; dess inre friktion var tillräckligt stor, för att detsamma endast mycket långsamt skulle tränga sig ut omkring cylindern, men äfven tillräckligt liten, för att trycket skulle fortplanta sig hydrostatiskt. Då cylinderns friktion var omärklig, kunde alltså trycket med lätthet beräknas. Två försöksserier med två manganintrådar gåfvo till resultat, att åtminstone till 4200 atmosfärer, hvilket var det högsta uppnådda trycket, proportionalitet mellan motståndsändring och tryck egde rum. Såsom värde på tryckkoefficienten erhölls $\gamma = 0{,}0_5 2259$ [1].

Sedermera upprepade försök, utförda under omständigheter, som berättigade till höjda anspråk på resultatens noggrannhet, ådagalade emellertid, att den stora inre friktionen i det använda tryckmediet verkligen kunde förorsaka fel vid bestämmandet af motståndets ändring med trycket. Vid kompressionen inträffade nämligen en ganska betydlig volymsminskning hos tryckmediet och till följd af den strömning, som häraf förorsakades, kom den i tryckmediet inbäddade tråden att vid hvarje tryckändring intaga ett något förändradt läge. Det visade sig, att de slitningar och brytningar, som därvid uppstodo framför allt i lödställena, kunde i och för sig åstadkomma en ändring i motståndet. För undvikande af denna felkälla vidtogs därför en förändring i anordningen, gående ut därpå, att tråden blef omgifven af en isolerande vätska, som var skild från den nämda blandningen af vax och vaselin genom en mjuk, rörlig vägg af skinn; genom denna anordning kunde trycket obehindradt fortplantas till tråden, och samtidigt den nyssnämda olägenheten undvikas.

---

[1] Jag har sedermera upptäckt, att ett vid dessa försök användt motstånd, som antagits vara 1000 ohm, i själfva verket uppgått till endast 982 ohm. Beräknas γ med införande af sistnämda värde på motståndet, erhållas $\gamma = 0{,}0_5 230$. De undersökta trådarna voro af samma slag som den i det följande undersökta tråden I c, hvars tryckkoefficient befunnits vara $= 0{,}0_5 231$.

Apparaten fick därför det förändrade utseende, som angifves af fig. 2, pl. I. Stålblocket var sammansatt af tre delar, *A*, *B* och *C* på sådant sätt, att en cylindrisk kanal af ungefär 7,5 mm diameter, med en utvidgning i midten, uppstod i dess inre. I kanalens öfre del var stålcylindern *D*, som upptill slipats i egg, noggrannt inslipad. I den nedanför varande utvidgningen hade den omtalade skiljeväggen *M* anbringats. Med sina kanter låg den mellan tvänne metallringar *R R*, hvilka genom ett par stift hindrades att glida utefter hvarandra; när *A* och *B* sammanskrufvades blef membranen följaktligen fastklämd mellan ringarna. Ofvan- och nedanför ringarna insatta läderpackningar gjorde apparaten i denna del fullkomligt tät[1]. I rummet under membranen *M* befann sig försökstråden. Dess förbindelse med den WHEATSTONE'ska bryggan åstadkoms medels följande af AMAGAT[2] angifna anordning. I den mutter *C*, som nedåt tillslöt kanalen i apparaten, hade en finare kanal af 3 mm diameter anbringats; i dess öfre mynning var en kon *K* af stål noggrannt inslipad, och medels en mycket tunn mantel af elfenben isolerades denna från den omgifvande muttern. Försökstrådens båda ändar fastlöddes vid två några mm långa stift af gröfre manganintråd, hvilka förut fastlödts, det ena vid muttern *C*, det andra vid konens öfre ända. Genom ett par längre manganintrådar, som fastlödts vid konens nedre ända resp. mutterns utsida, kunde sedan den önskade förbindelsen med bryggan åstadkommas. Denna anordning visade sig vid de sedan företagna försöken fungera utmärkt; trådens isolation var, i synnerhet sedan elfenbensmanteln blifvit impregnerad med paraffinolja, nära nog fullkomlig, och ej det ringaste spår af läckning kunde förmärkas[3]. Vid apparatens ihopsättning och fyllning iakttogs, att *A* och *B* först sammanskrufvades, hvarefter apparaten i upp- och nedvänd ställning fylldes med paraffinolja, och muttern *C* med en viss försigtighet inskrufvades; luft och öfverflödig olja bortgick därvid genom skrufgängorna. När *C* fullkomligt tillskrufvats, var oljans tryck något högre än en atmosfär, hvarför membranen befann sig utspänd i sitt högsta läge. Till sist fyldes apparatens öfre del med vax och vaselin, och stålcylindern insattes på sin plats. Under

[1] Angående principerna för apparatens tätning, se sid. 30.

[2] AMAGAT, Ann. de Chim. et de Phys. (6), *29*, p. 80, 1893.

[3] Alla försök, som först gjordes att med marinlim inkitta ledningstrådarna i urborrningar i muttern C, voro fullkomligt fruktlösa. De höga trycken åstadkommo snart sprickor i det bräckliga isolationsmaterialet.

försökens gång diffunderade oljan långsamt genom membranen, så att det efter förloppet af någon tid, ungefär en dag, blef nödvändigt att öppna apparaten och påfylla mera olja.

Trycket på cylindern åstadkoms liksom förut med tillhjälp af en belastad häfstång. Detaljerna i anordningen ses af fig. 3, pl. I. S är ett vid golfvet fäst stadigt trästativ, på hvilket den förut beskrifna apparaten A är uppställd. Omedelbart bakom densamma är stativets skifva försedd med ett hål, och i detta är haken H inpassad, hvars nedre del är gängad, så att dess höjd kan med användning af muttern K regleras. I haken H är införd bygeln B, hvilken i tvänne urskärningar är upphängd på de båda ändarna af ett stålprisma E, med uppåtvänd kant. Nämda prisma är, såsom figuren antyder, fast förenadt med häfstången. På det ställe af häfstången, där denna trycker på cylindern, är ett litet fyrkantigt prisma af härdadt stål infogadt, och i en i detsamma anbragt liten fåra F, som går vinkelrätt mot häfstångens längdriktning, är cylinderns egg inpassad. Vid häfstångens andra ända hvilar i en liten fördjupning eggen C, vid hvilken vågskålen V med vigterna P är anbringad. De olika trycken erhållas nu genom att belasta vågskålen med vigter af olika valör, och med användning af justeringsinrättningen K och vattenpasset N kan häfstången bringas att vid jämvigt intaga en horisontel ställning.

Antaga vi nu

d = cylinderns diameter; $d = 0{,}7448$ cm;

a = det horisontela af ståndet mellan eggarna E o. C; $a = 99{,}33$ cm;

b = » » » » » E o. F; $b = 5{,}01$ »

P = belastningen i C, uttryckt i kg, inklusive vågskålens vigt och häfstångens egen vigt, reducerad till samma häfstångsarm;

p = det erhållna trycket, uttryckt i atmosfärer;

så är

$$p = \frac{1}{1{,}0320} \cdot \frac{4}{\pi d^2} \cdot \frac{a}{b} \cdot P$$

Följande belastningar $P_1, P_2 \ldots P_{12}$ med motsvarande tryck $p_1, p_2 \ldots p_{12}$ hafva användts:

$P_1 = 4{,}031$ kg.;	$p_1 = 179$ atm.
$P_2 = 9{,}031$ »	$p_2 = 401$ »
$P_3 = 12{,}531$ »	$p_3 = 556$ »
$P_4 = 14{,}031$ »	$p_4 = 623$ »
$P_5 = 21{,}05$ »	$p_5 = 935$ »
$P_6 = 29{,}55$ »	$p_6 = 1312$ »

P_7 = 38,07 kg.;	p_7 = 1690 atm.
P_8 = 39,55 »	p_8 = 1756 »
P_9 = 48,07 »	p_9 = 2134 »
P_{10} = 53,07 »	p_{10} = 2356 »
P_{11} = 58,07 »	p_{11} = 2578 »
P_{12} = 60,44 »	p_{12} = 2683 »

Det högsta uppnådda trycket var altså ungefär 2700 atm.; den begränsade hållfastheten hos häfstångsanordningen tillät mig ej att använda större belastningar.

2. Den Wheatstone'ska bryggan.

Försökstråden utgjordes af en ungefär 70 cm lång manganintråd af 0,2 mm diameter, hvilken urglödgats med elektrisk ström och öfverspunnits med silke. Den upplindades till en spole med trådhvarfven parallela med längdriktningen och anbringades på sin plats i tryckapparaten på sätt, som förut beskrifvits; på det att ej genom möjliga rörelser hos stålkonen vid tryckvariationerna brytningar och böjningar skulle uppstå vid lödställena, lades tråden i lödställenas närhet i ett par lösa slingor, medan trådhvarfven för öfrigt sammanhöllos af omknutna silkestrådar.

Försökstråden med tilledningar bildade nu *en* gren i bryggkombinationen. En närliggande gren utgjordes af en med försökstråden lika tråd, hvilken — på det att temperaturen hos de båda trådarna vid mätningarna altid skulle vara densamma — var nedsänkt i en med paraffinolja fyld urborrning F (se fig. 2, pl. I) i tryckapparaten; en termometer, som var nedsatt i en annan liknande urborrning G, angaf de båda trådarnas temperatur. De båda andra grenarna i bryggan utgjordes af ett par manganinmotstånd, som, skyddade för temperaturvariationer, voro inneslutna i en gemensam glasburk. Bryggans olika delar förbundos med hvarandra medels tjocka manganintrådar, och samtliga förbindelser åstadkommos genom lödning. Bryggans inställande på noll skedde genom att variera motståndet i en reostat, som var insatt i shuntledning till ett af de sistnämda manganinmotstånden. Såsom strömkälla användes en ackumulator; i ledningen till densamma var altid ett större motstånd insatt, så att strömstyrkan uppgick till endast några hundradels ampère.

Galvanometern var af Deprez-d'Arsonval's konstruktion och för de här använda motstånden nära nog aperiodisk; den elastiska

efterverkan i rullens upphängningstråd var obetydlig. Vid en före dess användande gjord undersökning fann jag, att full proportionalitet mellan strömstyrka och utslag egde rum, äfven som att det efter strömmens omkastning erhållna utslaget blef lika stort som det förut erhållna. Galvanometern synes emellertid med tiden hafva undergått någon förändring, ty efter någon tids förlopp voro utslagen åt båda sidor olika; utslaget åt det negativa hållet var ofta 0,5 % mindre än åt det positiva. Då detta fel ej lät sig afhjälpa, har jag sökt anbringa korrektion för detsamma genom att, då negativa utslag användts, städse reducera dem till likhet med de positiva, hvilka fortfarande syntes vara proportionela mot strömstyrkan.

Motståndets ändring med trycket bestämdes medels galvanometerutslag på ungefär samma sätt som vid de föregående undersökningarna. Galvanometerledningen hölls altså ständigt sluten; detsamma var i allmänhet äfven förhållandet med batteriledningen. Den bekanta motståndsändringen erhölls genom att sluta en shuntledning till försökstråden, innehållande ett större motstånd af känd storlek. Då motståndsändringarna i allmänhet ej varit tillräckligt små, för att sträng proportionalitet mellan motståndsändring och galvanometerutslag skulle ega rum, har vederbörlig korrektion härför anbringats å de observerade galvanometerutslagen. Korrektionstermens värde har dock ej öfverstigit 0,4 % af hela utslaget.

3. Försök, observationer och resultat.

Försöken utfördes på liknande sätt som beskrifvits sid. 14. Galvanometerns jämnvigtsläge observerades altså vexelvis vid en atm. och vid högre tryck. För att likväl eliminera de fel, som kunde åstadkommas genom förändringar i galvanometerns nollpunktsläge i följd af termoströmmar och elastisk efterverkan i galvanometerrullens upphängningstråd, observerades omedelbart efter hvarje afläsning det nollpunktsläge, som erhölls vid batteriledningens afbrytande. Om n_1 och n_{p+1} äro de sålunda erhållna differenserna i galvanometerns jämnvigtslägen vid resp. en atm. och $p+1$ atm, så är altså det galvanometerutslag u, som motsvarar motståndsändringen vid p atmosfärers tryckhöjning

$$u = n_{p+1} - n_1$$

Den tid, som behöfdes för kompressionsvärmets afgifvande, uppgick vanligen till 4 à 5 minuter, och temperaturhöjningens in-

verkan utgjorde ungefär 10 % af tryckets. Före och efter hvarje försök bestämdes känsligheten α eller utslaget för den konstanta motståndsändringen Δr.

Tryckapparaten syntes fylla sin uppgift på ett tillfredsställande sätt; likväl var det nödvändigt att noga aktgifva på en del omständigheter. Cylinderns friktion, hvilken så långt möjligt var minskats genom smörjning med vaselin, var ofta omärklig. Då den understundom blef märkbar därigenom, att galvanometerinställningarna för samma belastning blefvo något olika, alt efter som en något högre eller lägre belastning hade föregått, så har dess verkan till största delen kunnat elimineras genom att taga medelvärdet mellan de båda galvanometerinställningarna; den nämda skilnaden uppgick dock sällan till mer än 0,5 skaldel. Tryckets minskning genom spänningar i membranen måste naturligtvis förekommas. För den skull gjordes försöken med de stora belastningarna, innan oljan ännu hunnit i nämnvärd grad diffundera genom membranen. Det var vidare nödvändigt, att den använda blandningen af vax och vaselin hade den lämpliga mjukheten, så att trycket verkligen fortplantades hydrostatiskt. När så var fallet, var trycket i vätskan konstant, och cylindern sjönk kontinuerligt, medan blandningen långsamt trängde sig ut omkring densamma; i motsatt fall sjönk den språngvis, och trycket varierade periodiskt.

Enligt den beskrifna metoden har jag undersökt två urglödgade manganintrådar, a och b, af ungefär 0,2 mm diameter; båda hade erhållits ur samma material, som jag i det följande betecknar med manganin II. Mätningarna, ordnade i tidsföljd, och, där så behöfts, korrigerade, återfinnas i följande två tabeller, vid hvilka äfven en del för beräkningen af tryckkoefficienten erforderliga konstanter äro uppgifna.

Tab. 3. **Manganin II a.**

Trådens motstånd = 6,135 ohm ; Δr = 0,02535 ohm ;
b = 5,006 cm; t = 22,°5.

P	u	a	$\frac{u}{aP}10^4$
P_5	83,6	167,2	237,5
P_5	83,7	167,3	237,7
P_3	49,8	167,4	237,4
P_1	15,9	167,4	(235,7)
P_6	117,5	167,5	237,5
P_7	151,0	167,3	237,1
P_6	117,5	167,3	237,7
P_7	150,9	167,3	236,9
P_1	15,7	167,0	(233,3)
P_3	49,4	167,0	236,1
P_5	83,3	167,0	237,0
P_6	117,0	167,0	237,1
P_7	150,0	167,1	235,8
P_8	156,8	167,0	237,4
P_3	49,4	166,9	236,2
P_8	92,1	98,1	237,4
P_9	111,4	98,0	236,5
P_{10}	123,1	98,0	236,7
P_{11}	134,2	97,9	236,1
P_4	32,2	97,9	234,4
P_7	87,9	97,8	236,1
P_9	111,1	97,6	236,9
P_{11}	133,8	97,6	236,1
P_{12}	139,2	97,6	236,0
P_5	48,4	97,6	235,6
P_1	16,0	167,8	(236,6)
P_3	49,5	167,7	235,6
P_5	83,5	167,6	236,7
P_6	116,5	167,6	235,2
P_7	150,5	167,5	236,0
P_2	35,3	167,4	(233,5)
P_9	112,2	98,7	236,5
P_{10}	123,9	98,7	236,5
P_7	88,8	98,7	236,3
P_6	69,0	98,6	236,8
P_8	92,1	98,6	236,2
P_5	48,9	98,6	235,6
P_5	82,9	166,7	236,2
P_3	49,0	166,7	234,6
		Medelvärde	236,1

Tab. 4. **Manganin II b.**

Trådens motstånd = 5,460 ohm; Δr = 0,01816 ohm;
h = 5,013 cm; t = 15°.

P	u	α	$\frac{u}{\alpha P} 10^4$
P_1	14,2	128,1	(275,1)
P_3	45,5	128,1	283,5
P_5	76,3	128,0	283,2
P_6	107,0	128,0	282,9
P_7	139,0	128,0	285,2
P_9	173,1	128,0	281,3
P_8	143,6	127,9	283,9
P_3	45,5	128,0	283,7
P_5	76,4	127,9	283,8
P_6	107,2	127,9	283,6
P_1	14,5	127,8	(281,5)
P_7	138,5	128,0	284,2
P_7	137,8	127,3	284,3
P_{10}	114,0	75,7	283,8
P_6	63,6	75,7	284,3
P_{11}	125,8	75,9	285,4
P_{11}	125,6	75,9	285,0
P_{11}	125,3	75,7	285,0
P_{10}	114,1	75,6	284,4
P_9	103,2	75,6	284,0
P_8	84,6	75,5	283,3
P_7	139,1	127,8	285,9
P_6	107,9	127,7	285,9
P_5	76,7	127,8	285,1
		Medelvärde	284,2

Af dessa båda tabeller framgår, att kvantiteten $\frac{u}{\alpha P}$ är för olika värden på P konstant[1]; *inom det undersökta tryckgebietet äro* följaktligen *motståndsändringarna proportionela mot tryckändringarna.*

[1] Jfr dock sid. 27.

Beräknas med användning af de funna medelvärdena på $\frac{u}{\alpha P}$[1] tryckkoefficienterna för resp. trådar, erhålles

för Manganin IIa ; $\gamma = 0{,}0_5220$
» Manganin IIb ; $\gamma = 0{,}0_5215$

Beträffande noggrannheten i mätningarna uppgår t. ex. för tråden IIa det uppskattade felet i det använda värdet på $\frac{u}{\alpha P}$ till 0,2 %; för öfriga ingående kvantiteter äro de uppskattade felen eller de beräknade medelfelen följande: för den mindre häfstångsarmen 0,1 %, för cylinderns genomskärningsarea 0,1 %, för trådens motstånd[2] 0,1 % och för den konstanta motståndsändringen Δr 0,3 %. Om endast mätningsfel förekomme, skulle följaktligen maximifelet i γ bli 0,8 % och medelfelet 0,4 %. Man må emellertid ihågkomma, att i de uppmätta motståndsändringarna ingå icke blott ändringarna i trådens eget motstånd, utan äfven ändringar i motståndet hos de för trycket utsatta lödställena. Denna omständighet medför en ökning i felet i γ.

För att erhålla någon kännedom om storleken af motståndsändringarna i lödställena hafva några försök utförts, vid hvilka motståndet förlagts *utanför* tryckapparaten, och lödställena i apparaten förbundits endast genom en några mm lång manganintråd af 0,2 mm diameter. Såsom man kunde vänta, visade sig motståndsändringarna vara i afsevärd grad beroende på lödställenas individuela beskaffenhet. I regel inträffade dock en minskning i motståndet, när trycket ökades, och denna minskning var jämförelsevis mycket större vid de lägre trycken än vid de högre; vid tryckets upphäfvande återtogo lödställena endast långsamt sitt ursprungliga motstånd. Motståndsminskningen kunde, då den var som störst, uppgå exempelvis vid 800

[1] Då den första bestämningen af den mindre häfstångsarmens längd utfördes först i vid början af den senare delen af observationsserien för tråden IIa, har jag vid beräkningen af medelvärdet på $\frac{u}{\alpha P}$ för denna tråd användt endast de värden, som tillhöra denna del. Likaledes ha de vid de lägre belastningarna erhållna värdena, hvilka stälts inom parentes, på grund af sin större osäkerhet uteslutits.

[2] Samtliga absoluta motståndsbestämningar hafva utförts med tillhjälp af Kohlrausch's valsbrygga, hvars mättråd blifvit noggrannt kalibrerad; de relativa felen i motståndsbestämningarna hafva ej öfverstigit 0,1 %.

atm. till 0,00012 ohm och vid 2600 atm. till 0,00021 ohm.[1] Om vid de föregående mätningarna af tryckkoefficienten lödställenas inflytande hade varit lika stort, skulle detsamma vid 800 atm. uppgått till 1 % och vid 2600 atm. till 0,6 % af hela motståndsändringen. I själfva verket kan man ock i de anförda tabellerna vid de mindre belastningarna spåra en viss tendens till minskning i värdet på $\frac{u}{\alpha P}$; denna minskning torde just bero på lödställenas större inflytande vid de lägre trycken. Naturligtvis kan lödställenas inflytande göras helt försvinnande genom att tillräckligt öka *trådens längd;* ökning af trådens motstånd genom enbart minskande af dess diameter torde knappast leda till målet, då sannolikt äfven lödställenas öfvergångsmotstånd därigenom skulle ökas i kanske ännu högre grad. På grund af det begränsade utrymmet i apparaten kunde dock vid ofvan beskrifna försök längre trådar ej användas. — Vid lödställenas förbindande medels en några mm lång koppartråd af 0,2 mm diameter visade sig motståndsändringarna med trycket vara betydligt mindre än i nyss nämda fall[2].

De erhållna värdena på γ för de båda undersökta trådarna skilja sig från hvarandra på några procent. Detta har, åtminstone till en del, sin grund i olikhet i inre struktur, förorsakad däraf, att behandlingssättet väl ej varit fullkomligt detsamma för de båda trådarna. Häraf framgår nödvändigheten af att, om stor noggrannhet afses, vid den föreslagna tryckmätningsmetodens användande bestämma tryckkoefficienten särskildt för hvarje använd tråd.

[1] Möjligen kan dock en del af dessa förändringar hafva endast indirekt framkallats af trycket genom förändringar i läget af stålkonen.

[2] Att motståndsändringarna i lödställena äro större för manganin än för koppar torde bero därpå, att det specifika motståndet hos manganin är mycket större och således inflytandet af förändringar i kontakten större, dels därpå, att det vid lödning af manganin medels tenn är förenadt med rätt stora svårigheter att erhålla *goda* lödställen, i det att de lätt antaga en kornig struktur.

B. Jämförande undersökningar öfver manganintrådar af olika slag.

Genom de föregående försöken hade det konstaterats, att för de undersökta manganintrådarna proportionalitet mellan motståndsändring och tryck ägde rum. För att emellertid få utrönt, dels huru olika manganinsorter i detta afseende förhölle sig, dels huruvida tryckkoefficienten i någon högre grad förändrades med temperaturen, samt för att i allmänhet få litet större erfarenhet om den föreslagna tryckmätningsmetodens noggrannhet och användbarhet under olika omständigheter företogs nu en jämförande undersökning öfver manganintrådar af olika slag. Två trådar blefvo alltså samtidigt utsatta för trycket i en och samma apparat, hvarvid temperaturen hos den ena tråden hölls konstant, medan den hos den andra varierades. Den härför erforderliga tryckapparaten var inrättad på följande sätt.

1. Tryckapparaten.

Apparaten är i genomskärning afbildad i fig. 1 pl. 3. Dess väsentligaste del utgjordes af ett stålblock, bestående af en kubisk del A och en cylindrisk del B. Längs dess axel löpte en cylindrisk kanal CE, hvars nedre del CD var af 8,5 mm diameter och öfre del DE af 20 mm diameter. I nämda kanal var infördt ett kolfsystem, med hvars tillhjälp kompressionen åstadkoms. Det bestod af tre delar H, F och G; kolfven H, som rörde sig i kanalens öfre del, hade samma diameter som denna; F och G åter voro noggrannt inslipade i kanalens nedre del. Den öfre delen af F var koniskt tillspetsad och passade in i en motsvarande fördjupning i H. F hade en längd af ungefär 5,5 cm, G af 1,6 cm. Mellan F och G voro införda en serie läderskifvor af samma diameter som kanalen, och vid den nedre delen af G var en skålformig läderpackning fäst medels en liten skruf. Med tillhjälp af en kraftig flatgängad skruf K af 6 mm gänghöjd, hvilken löpte genom bygeln J, kunde kolfsystemet drifvas in i apparaten, och trycket sålunda höjas. För att kolven H ej därvid skulle deltaga i rotationen, var den försedd med tvänne stift S, hvilka löpte i en ränna på hvar sin ståndare R, som fästs vid apparatens utsida. Från kanalen CD, som nedtill tillslöts af muttern L, utgrenade

sig tre andra kanaler, *M*, *N* och *O* af 3 mm diameter. Kanalen *O* kunde vid sin andra mynning efter behag öppnas eller tillslutas medels ventilen *V*. När *V* öppnades, sattes *O* i förbindelse med kanalen *P*, hvilken, på sätt figuren antyder, stod i förbindelse med CAILLETET's pump. Kanalerna *M* och *N* ledde till de rum, uti hvilka de båda försökstrådarna voro inneslutna. Den ena tråden placerades i stålblocket *A* uti en kanal *Q*, (se fig. 2, hvilken är en sektion, vinkelrät mot sektionen i fig. 1) hvilken upptill tillslöts af muttern *U*. För att medgifva möjligheten af variation i temperaturen inneslöts den andra tråden i det cylindriska rummet *Z* i ett särskildt stålblock *X*, hvilket medels en rörledning *Y* stod, på sätt figuren närmare angifver, i förbindelse med kanalen *N*. Rummet *Z*, hvars längd var 5,5 cm och diam. 7 mm, tillslöts af en af två plattor bestående botten, hvilken medels muttern *W* hölls i sitt läge. I så väl nyssnämnda botten, som i den förut omtalade muttern *U* hade, i och för resp. trådars isolerade förbindelse utåt, vidtagits liknande anordningar, som vid den apparat, hvilken förut användts vid de absoluta bestämningarna af tryckkoefficienten. Rörledningen *Y* bestod af två rör, ett yttre stålrör af 12 mm yttre och 4 mm inre diameter, samt ett inre kopparrör af ungefär 1 mm inre diameter, hvilket noga passade in i det yttre stålröret; de båda rören voro vid ändarna sammanlödda. — Hela apparaten var i horisontelt läge (fig. 1 alltså en horisontalsektion) på ett enkelt sätt monterad vid ett stadigt träbord.

Det önskade trycket åstadkoms nu på följande sätt. Sedan ventilen *V* öppnats, inpressades medels pumpen paraffinolja i apparaten, tills trycket stigit några tiotal atmosfärer; därefter tillslöts ventilen, och de högre trycken åstadkommos medels skrufven *K*, hvilken kringvreds med tillhjälp af en järnstång. På detta sätt kunde trycket utan svårighet på ett par minuter bringas upp till 3000 atmosfärer.

Då apparatens sammanlagda inre volym uppgick till endast några få kubikcentimeter, och då tryckvätskan var föga kompressibel, är det gifvet, att den allra minsta läckning hos apparaten måste ha till följd ett hastigt sjunkande i trycket. På apparatens tätning måste derför ställas de högsta anspråk. Svårast var naturligtvis att undgå läckning omkring kompressionskolfven; genom den ofvan beskrifna anordningen med *två* kolfvar och mellanlagda läderskifvor öfvervanns slutligen denna svårighet fullkomligt. För öfrigt har förf. vid apparatens konstruktion så långt som möjligt sökt

följa de anvisningar, hvilka AMAGAT[1] angifvit för ernående af läckfrihet. Packningarna anbringades följaktligen städse på sådant sätt, att de blefvo *allsidigt* inneslutna mellan de delar, som skulle sammanfogas med hvarandra. Så t. ex. anordnades packningen vid muttern *L*, som tillslöt kanalen *CD*, på sätt, som närmare angifves af fig. 3 pl. 3; packningen *P*, som är allsidigt innesluten, blir vid mutterns tilldragning starkt komprimerad och tvingas alltså att fullständigt utfylla rummet mellan de båda sammanskrufvade delarna. Ett par ringformiga fördjupningar, som anbringats i de metallytor, mellan hvilka packningen komprimeras, förhöja verkan af anordningen. Till packningar ha användts ringformiga *läder*skifvor, hvilka förut impregnerats med talg; packningar af *bly*, hvilka först försöktes, visade sig otillfredsställande, i det att blyet redan vid 1500—1800 atmosfärers tryck började strömma ut. Enligt AMAGAT böra packningarna ligga mellan ytor, som vid delarnas ihopsättande icke rotera i förhållande till hvarandra. Denna försigtighetsåtgärd har jag i här förekommande fall ej funnit vara behöflig, utan har redan den beskrifna enklare anordningen befunnits vara fullt tillfredsställande. Vid 3000 atm. var ofta tryckets fall under en half timme knappt märkbart, och det spår däraf, som kunde konstateras, berodde måhända på en genom trycket framkallad ändring i apparatens inre volym. Oftast kunde äfven denna obetydliga tryckändring förekommas genom att förut låta apparaten under några minuter stå under ett något högre tryck.

Det högsta uppnådda trycket var ungefär 3000 atm. Vid försök att uppnå ännu högre tryck inträffade det tvänne gånger, att förbindelseröret *Y* sprängdes vid en hopfogning; jag måste därför afstå från vidare försök i detta syfte. Hade emellertid röret haft tillräcklig hållfasthet, skulle sannolikt med denna apparat mycket högre tryck kunnat uppnås.

2. Försöksanordning.

Vid de följande undersökningarna har den i kanalen *Q* i det stora stålblocket inneslutna tråden ständigt varit densamma. Den utgjordes af en urglödgad tråd af 0,2 mm diameter, framställd ur manganin II; den var således likartad med de förut undersökta trådarna IIa och IIb, och i det följande beteckna vi densamma

[1] AMAGAT, Ann. de Chim. et de Phys. (5), *19*, p. 357—359, 1880.

med IIc. Tråden insattes i en WHEATSTONE's brygga, som anordnats på samma sätt som den, hvilken användts vid de föregående absoluta bestämningarna af γ; den enda skilnaden var, att bryggans approximativa inställande på noll nu skedde en gång för alla medels motståndens lämpliga afpassande utan tillhjälp af någon reostat[1]. Jämförelsemotståndet infördes i en i stålblocket A anbringad urborrning u_1 af 3 mm diameter och 8 cm djup, och temperaturen aflästes på en i en annan urborrning u_2 nedsatt termometer; båda urborrningarna voro fylda med paraffinolja. Motståndets förändring med trycket observerades oförändradt på förut beskrifna sätt. Försökstrådens motstånd var = 5,538 ohm, och den införda konstanta motståndsändringen = 0,01810 ohm.

Den andra manganintråden inneslöts, såsom redan blifvit nämdt, i stålblocket X. För att kunna meddela olika temperaturer åt tråden, inneslöts stålblocket jämte en del af röret Y i en zinklåda af ungefär 20 liters rymd, omgifven af en något större trälåda. Försöken utfördes dels vid rumstemperatur, dels vid 0°. I förra fallet innehöll zinklådan endast luft, i det senare smältande is; temperaturen aflästes på en i zinklådan nedsatt termometer. Ledningstrådarna till försökstråden voro genom en vattentätt omslutande kautschukslang isolerade från den omgifvande isen.

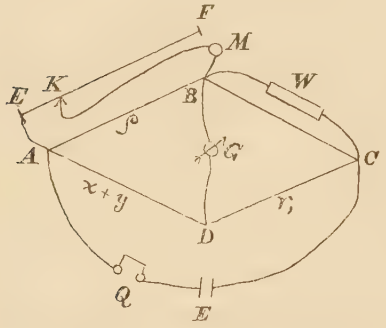
Jämförelsemotståndet inlades till en början i en spiralformig urgräfning i den yttre af de båda plattor, hvaraf bottnen till stålblocket var sammansatt. Det visade sig emellertid snart, att de båda plattorna genom trycket blefvo deformerade, så att motståndet i följd af de spänningar i tråden, som däraf framkallades, ej förblef fullt konstant. Motståndet blef därför förlagdt utom apparaten i ofvannämda kautschukslang[2].

Då det kunde vara af intresse att äfven något variera mätningsmetoden, så bestämdes motståndsändringarna med trycket hos denna tråd enligt en *nollmetod*. Anordningen framgår af vidstående skematiska figur. AB, BC, AD och DC äro fyra motstånd, som sammankopplats med en Lord KELVIN's galvanometer G och ett

[1] Galvanometern var följakligen äfven densamma.

[2] Bäst hade naturligtvis varit, om jämförelsemotståndet äfven här kunnat införas i en rak cylindrisk kanal i stålblocket. Denna del af apparaten hade emellertid ursprungligen konstruerats för ett annat ändamål, för hvilket det var fördelaktigt, att blockets massa var den minsta möjliga; blockets vigt uppgick endast till 2 kg. För hållfasthetens skull var det därför rådligast, att ej anbringa någon ny kanal.

Leclanché-element E till en Wheatstone's brygga. Motståndet AD utgöres af försökstråden (motstånd = x) och dess tilledningar (motstånd = y), DC af hvad vi kallat jämförelsemotståndet (motstånd = r_1). AB (motstånd = ϱ) och BC äro tvänne i ett gemensamt glaskärl inneslutna manganiumotstånd. Till dessa äro shuntledningar införda. Shunten till AB innehåller ett större motstånd M samt ett variabelt motstånd KE, hvilket kan ökas eller minskas genom att flytta glidkontakten K utefter mättråden EF; shunten till BC innehåller en reostat W.



Bryggan inställes först approximativt på noll genom lämpligt afpassande af motståndet i reostaten W; därefter sker den noggranna inställningen genom flyttning af kontakten K. Det därvid uppkomna totala motståndet i shunten AB antaga vi vara = R. Antages vidare det resulterande motståndet i båda ledningarna mellan A och B vara = r, samt motsvarande motstånd mellan B och $C = r_2$, så är

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{R}$$

eller

$$r = \frac{\varrho R}{R+\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

och

$$\frac{x+y}{r} = \frac{r_1}{r_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Vid tryckets höjande ökas motståndet i försökstråden till $x + \Delta x$, och bryggans jämvigt blir störd; jämvigten återställes genom att flytta kontakten K ett visst antal skaldelar, n, utefter EF. Om motståndet per skaldel i mättråden är = w, så är altså motståndet i shunten AB nu = $R + nw$, och det resulterande motståndet $r + \Delta r$ mellan A och B enl. (1)

$$r + \Delta r = \frac{\varrho\,(R + nw)}{R - \varrho + nw} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Vidare är

$$\frac{x + \Delta x + y}{r + \Delta r} = \frac{r_1}{r_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Ur (2) och (4) erhålles

$$\frac{\Delta x}{\Delta r} = \frac{x + y}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Elimineras r och Δr ur ekv. (1), (3) och (5), fås slutligen

$$\Delta x = \frac{\varrho w (x + y) n}{R(R + \varrho + nw)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Genom att lämpligt välja motståndet R kan altså utslaget n på mättråden fås godtyckligt stort; vid de utförda försöken har det i allmänhet uppgått till flere hundra skaldelar. Mättråden utgjordes af en öfver en graderad millimeterskala spänd nysilfvertråd af 1 m längd och 0,46 mm diameter. Dess motstånd varierade altså något med temperaturen, men härför har vederbörlig korrektion anbringats. Af vigt var att glidkontakten K gjordes så motståndsfri som möjligt. Detta kunde uppnås därigenom, att åt densamma gafs formen af ett slags tång, mellan hvars båda delar tråden blef fastklämd. Öfvergångsmotståndet, som syntes vara konstant, befanns vid undersökning vara af ungefär samma storlek som motståndet i en skaldel af mättråden.

För eliminerande af termoströmmarnas inflytande hölls galvanometerledningen ständigt sluten; oaktadt strömmen slöts endast för ett ögonblick behöfde denna anordning ej medföra något fel, då samtliga använda motstånd voro praktiskt taget kapacitets- och induktionsfria. Galvanometerns känslighet (en skaldel = $3{,}2.10^{-8}$ amp. för ett skalafstånd af 2 m) var tillräckligt stor, för att inställningen af kontakten kunde ske med en noggrannhet af ett par tiondedels skaldel. Felet i n har därför ej öfverstigit 0,5. Då de i formel (6) ingående motstånden bestämts med en noggrannhet af 0,1 %, blir altså medelfelet i Δx ungefär 0,3 % och maximifelet 0,6 %. Naturligtvis kan dock metodens noggrannhet betydligt skärpas.

Vid metoden med galvanometerutslag torde afläsningsfelen i galvanometerutslagen i och för sig i allmänhet medföra ett sammanlagdt fel af omkring 0,3 %. Denna metod är altså ej lika noggrann som den nyss beskrifna, men i stället så mycket bekvämare.

3. Observationer och resultat.

Med tråden IIc har jag jämfört dels den förut i afseende på tryckkoefficienten undersökta tråden IIa, dels tre hårddragna trådar, i det följande betecknade med Ib, Ic och IId. Sistnämda tråd var af samma slags material som det, hvarur trådarna IIa, IIb och IIc framstälts; trådarna Ib och Ic voro af samma slag som den förut undersökta Ia. Båda manganinprofven (I och II) hade erhållits från Isabellenhütte; i följande tabell meddelas uppgift om deras specifika ledningsmotstånd och specifika vigt i ursprungligt och urglödgadt tillstånd.

	Spec. ledn.-motst.	Spec. vigt
Manganin I (ej urgl.)	0,4032	8,45
» » (urgl.)	0,3986	8,49
Manganin II (ej urgl.)	0,3766	8,47
» » (urgl.)	0,3867	8,54

Vid dessa försök har i allmänhet trycket p beräknats ur motståndsändringarna hos tråden IIc enligt formeln

$$p = C\frac{u}{\alpha}$$

där C är en af tryckkoefficienten beroende konstant. Genom jämförelsen med tråden IIa blef konstanten C bestämd. Tabell 5 återgifver de vid jämförelsen tagna observationerna, hvarvid, utom förut använda, följande beteckningar användts:

t_1 = temperaturen hos tråden IIa;
t_2 = » » » IIc;
Nollp. 1 = glidkontaktens läge för strömfri galvanometer vid en atmosfärs tryck;
Nollp. 2 = det galvanometerutslag, som erhölls vid strömmens afbrytande vid en atm.;
p = det ur motståndsändringen hos tråden IIa beräknade trycket.

Olika observationsserier äro i tabellen åtskilda genom horisontela linier. Nollpunkterna och känsligheten α ha, såsom tabellen utvisar, i några serier bestämts vid hvarje särskildt försök, men i andra endast vid seriens början och slut; för mellanliggande ob-

Tab. 5. **Manganin II** a ($t_1 = 21^0,0$).

$t_2 = 21^0,0$; $x = 6,140$; $y = 0,123$; $\varrho = 9,606$; $w = 0,001583$.

R	Nollp. 1	n	p	Nollp. 2	u	α	C
46,76	946,8	732,8	1926	−13,7	151,1	116,2	1475
	948,2	728,7	1911	−13,7	150,6	116,1	1473
	949,4	629,4	1655	−13,8	130,1	116,2	1478
46,75	957,3	529,3	1396	−14,0	109,6	116,1	1479
	958,0	426,5	1128	−14,1	88,9	116,1	1473
	958,7	336,7	893	−14,2	70,1	116,1	1479
	959,2	235,2	625	−14,3	49,1	116,0	1477
35,64	990,5	713,5	3044	− 9,4	170,3	82,5	1475
	990,5	638,5	2732	− 9,4	153,0	82,5	1473
	989,5	554,5	2380	− 9,4	132,8	82,4	1477
	988,8	517,3	2222	− 9,4	124,0	82,3	1475
	987,6	423,9	1827	− 9,4	101,7	82,3	1479
	985,5	461,0	1985	− 9,4	110,2	82,2	1481
	984,2	371,4	1604	− 9,5	89,2	82,2	1479
36,04	734,0	432,0	1825	− 9,7	101,7	82,5	1480
		561,0	2359		131,3		1482
		465,5	1959		109,5		1476
		691,0	2893		160,6		1484
		528,0	2223		124,0		1477
		385,0	1629		90,8		1479
		465,5	1963		109,5		1475
		308,5	1308		73,0		1475
	732,0	513,5	2163	− 9,7	120,5	82,3	1477
46,94	836,0	818,0	2125	−13,9	162,1	113,2	1484
		586,5	1533		117,4		1479
		728,5	1897		144,8		1483
		635,0	1658		126,6		1481
		482,5	1263		96,8		1476
		683,5	1782		136,1		1481
		581,5	1521		116,4		1479
		438,0	1150		88,0		1477
		340,5	895		68,4		1479
	835,5	583,0	1525	−13,9	116,5	113,0	1479
						Medelvärde	1478

servationer hafva då interpolerade värden på känslighet och nonpunkter användts. Tiden för hvarje observationsserie har vanligen uppgått till ungefär 2 timmar.

Af tabellen synes, att de för olika tryck erhållna värdena på C äro inom observationsfelen lika; förhållandet mellan motståndsändringarna hos de båda trådarna är altså, såsom sig bör, konstant. Osäkerheten i det funna medelvärdet på C, hvilken hufvudsakligen härrör från en möjlig olikhet i inflytandet af trådens IIa lödställen vid denna jämförelse och vid den förut gjorda bestämningen af tryckkoefficienten, anser jag ej mycket öfverstiga 1 %. Beräknas ur värdet på C tryckkoefficienten för tråden IIc, erhålles $\gamma = 0{,}0_5221$.

Tab. 6. **Manganin II a** ($t_1 = 0^0$).

$t_2 = 22^0{,}0$; $w = 0{,}001583$

R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	α	C
46,69	996,0	992,0	− 9,3	137,9	78,7	1478
	995,0	867,0	− 9,2	120,9	78,7	1479
	993,6	785,6	− 9,2	110,2	78,9	1477
	991,0	721,0	− 9,2	101,3	78,9	1477
	992,5	634,5	− 9,3	89,5	79,0	1477
	989,0	927,0	− 9,2	129,5	78,9	1477
46,70	986,7	636,7	−13,5	130,6	115,0	1478
	985,0	527,0	−13,5	108,6	115,0	1476
46,70	989,2	429,2	−14,5	89,3	115,7	1475
	988,8	334,3	−14,9	69,6	115,8	1479
	987,1	577,1	−15,1	119,5	115,7	1476
					Medelvärde	1477

Tabell 6 återgifver observationerna vid jämförelse mellan samma trådar, när tråden IIa varit vid 0^0 temperatur. Det erhållna medelvärdet på C är nära nog lika med det, som förut erhållits. Tryckkoefficienten för tråden IIa är altså i det närmaste oberoende af temperaturen. Då tråden IIc är likartad med IIa, bör samma förhållande ega rum för denna tråd. I det följande kunna vi därför bortse från temperaturvariationerna hos tråden IIc och vid beräkningen af trycket enligt ofvan anförda formel använda det i tabell 5 funna medelvärdet $C = 1478$.

Tabellerna 7—11 innehålla de vid jämförelsen med trådarna IId, Ib och Ic[1] tagna observationerna samt, i sista kolumnen, de därur för olika tryck beräknade värdena på tryckkoefficienten. Såsom tabellerna utvisa, hafva observationerna i allmänhet utförts vid successivt tilltagande och aftagande tryck med nollpunkts- och känslighetsbestämningar vid hvarje observationsseries början och slut.

Jämföra vi de för samma tråd vid *olika temperaturer* erhållna medelvärdena på tryckkoefficienten, så finna vi, att för tråden Ib

Tab. 7. **Manganin II d** ($t_1 = 24{,}5^0$).

$x = 1{,}816$; $y = 0{,}123$; $\varrho = 0{,}9069$; $w = 0{,}001584$

R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	a	p	$\gamma\ 10^8$
13,13	883,0	494,0	3,8	129,6	115,3	1661	234,4
	882,0	386,7	3,6	102,5	115,4	1313	234,9
	881,5	251,5	3,2	67,5	115,4	865	235,4
	880,5	580,2	2,6	150,5	115,5	1926	235,3
13,14	877,0	867,0	−10,1	171,6	90,4	2806	234,4
	875,7	865,7	−10,0	171,3	90,3	2804	233,7
	875,0	707,0	− 9,9	142,0	90,2	2327	233,9
	874,5	562,5	− 9,8	114,4	90,2	1875	234,5
	874,8	429,8	− 9,8	88,8	90,1	1457	233,9
	874,9	377,9	−12,8	101,7	117,0	1284	234,4
	877,2	289,2	−13,7	78,7	117,3	992	234,9
16,17	895,0	437,0	−13,4	78,9	117,1	996	234,3
	895,2	333,7	−13,2	60,6	117,2	764	235,4
	895,2	234,2	−13,1	42,9	117,2	541	235,4
	895,2	561,2	−13,2	99,8	117,2	1259	235,6
						Medelvärde	234,7

variationen i γ är fullkomligt omärklig, och att för IId γ är några tiondedels procent större vid 0^0 än vid 25^0. *Tryckkoefficientens förändring med temperaturen synes altså i allmänhet vara obetydlig.* Om den föreslagna tryckmätningsmetoden användes vid rumstemperatur, torde därför dennas variationer, hvad tryckkoefficienten angår, vara utan afsevärd inverkan på mätningarnas noggrannhet

[1] Samtliga dessa trådar hade en längd af ungef. 1 m och en diameter af 0,5 mm.

Ehuru i tabellerna 7—11 variationerna i γ äro så obetydliga, att de till största delen kunna bero på observationsfelens inverkan, kan man dock vid en noggrannare granskning städse spåra en liten variation i γ med trycket: värdena äro vid lägre tryck något större än vid högre och understundom vid tilltagande tryck något större än vid aftagande. Sistnämda variation kan väl delvis bero på kompressionsvärmets inflytande på den i det mindre stålblocket inneslutna tråden, men icke den förra; detta framgår däraf, att variationen framträder äfven vid försöken vid 0°, där kompressionsvär-

Tab. 8. **Manganin II d** ($t_1 = 0$).

$w = 0{,}001583$.

R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	a	p	$\gamma\ 10^8$
16,18	890,6	812,6	−13,4	140,8	117,1	1777	235,8
	889,3	872,3	−13,5	150,7	117,0	1904	235,2
	889,0	684,0	−13,5	119,8	117,0	1513	235,6
	888,7	511,2	−13,5	90,6	116,9	1146	236,3
	888,0	399,0	−13,5	71,4	116,9	903	236,3
16,17	893,7	283,7	−14,1	51,3	116,8	649	236,4
	896,1	222,1	−14,3	40,5	116,8	513	235,7
13,12	889,0	869,5	− 9,3	155,8	82,0	2808	234,8
	890,2	710,2	− 9,4	129,1	81,9	2330	235,0
	888,7	602,7	− 9,5	110,6	82,0	1994	235,7
	887,2	494,2	− 9,6	91,7	82,0	1653	235,8
	886,2	547,2	− 9,7	101,1	81,9	1825	235,8
						Medelvärde	235,7

mets inflytande är uteslutet. Jag har äfven öfvertygat mig om, att afvikelsen från proportionaliteten mellan strömstyrka och utslag hos den vid tryckmätningarna använda galvanometern ej varit tillräckligt stor för att kunna förklara variationen. Däremot tror jag, att variationen hufvudsakligen beror på motståndsändsändringar i de för trycket utsatta lödställena hos tråden II c. På grund af trådens II c mindre längd och diameter är det nämligen antagligt, att lödställenas motståndsändringar äro relativt större för denna tråd än för trådarna I b, I c och I d; detta synes äfven framgå däraf, att under en observationsseries lopp nollp. 2 i regel för-

ändrats rätt afsevärdt, angifvande under någon tid kvarstående motståndsminskningar i lödställena, under det att nollp. 1, trots dess större beroende af temperaturvariationer i rummet, förändrats i mindre grad. På grund af lödställenas inflytande hafva de be-

Tab. 9. **Manganin I b** (rumstemp.)

$x = 2{,}052$; $y = 0{,}123$; $\varrho = 0{,}9069$; $w = 0{,}001583$

t_1	R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	α	p	$\gamma\ 10^8$
21°,0	16,12	924,0	824,5	−13,5	140,9	114,3	1822	232,8
			444,0		78,4		1014	233,0
			615,0		106,8		1381	233,4
			816,0		139,5		1804	232,9
			908,0		154,1		1993	232,7
			706,0		122,0		1578	232,6
			515,0		90,3		1168	233,3
			358,5		63,8		825	232,9
		924,0	256,5	−13,7	45,9	114,3	607	233,8
21°,0	13,05	938,3	657,3	− 9,9	120,7	81,2	2197	232,5
		937,5	621,2	- 9,7	114,5	81,2	2084	232,6
			705,0		128,9		2346	232,4
		936,5	792,0	− 9,7	143,7	81,2	2616	232,0
17,°0	13,05	935,2	585,2	− 9,2	108,6	81,4	1972	232,2
		935,0	486,0	− 9,2	90,8	81,4	1649	233,2
		935,0	383,5	− 9,2	72,4		1315	233,3
			516,5		96,3		1749	232,9
			659,0		121,4		2205	232,1
			818,0		148,2		2691	232,1
			920,0		165,3		3002	231,6
			720,5		132,1		2399	231,8
			567,0		105,4		1914	232,3
			477,0		89,7		1629	231,8
		935,0	370,3	-- 9,5	70,4	81,4	1279	232,0
							Medelvärde	232,6

räknade värdena på trycken altså vid låga tryck blifvit för små och värdena på γ vid samma tryck för höga. För tråden IIa däremot, hvars längd och diameter äro ungefär desamma som för tråden IIc, har antagligen äfven lödställenas inflytande varit ungefär det-

samma; konstanten C har därför blifvit oberoende af trycket. Af det sagda torde altså framgå, att den funna variationen i γ för de hårddragna trådarna måste betraktas såsom endast skenbar, och att i allmänhet *motståndet hos manganin förändras liniärt med trycket.*[1]

Tab. 10. **Manganin I b** ($t_1 = 0^0$).

$w = 0{,}001580$.

R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	α	p	$\gamma\ 10^8$
13,06	926,0	605,0	— 9,2	111,5	81,4	2025	232,7
		714,0		130,3		2366	232,4
		811,0		146,8		2666	232,0
		911,0		163,5		2969	231,5
		836,5		151,1		2744	231,8
		753,0		137,2		2491	231,8
		669,5		123,0		2234	231,9
		553,0		102,8		1867	232,6
	926,0	456,5	— 9,3	85,6	81,4	1554	232,5
16,15	910,0	353,5	—13,3	62,9	114,4	813	232,5
		467,0		82,1		1061	232,9
		585,5		101,9		1315	233,0
		702,0		121,0		1562	232,9
		846,0		144,1		1860	232,7
	910,0	357,5	—13,3	63,5	114,6	815	233,2
16,12	922,7	465,0	—12,9	81,8	114,4	1057	233,2
		589,3		102,7		1327	232,9
		709,5		122,5		1583	232,6
		832,5		142,3		1839	232,4
		898,0		152,9		1974	232,3
		773,5		133,0		1717	232,6
		651,2		113,0		1459	232,8
		535,5		93,7		1210	233,2
		421,5		74,6		963	232,9
	924,5	305,7	—13,4	54,7	114,5	706	232,9

Medelvärde 232,6

De förändringar, som *nollpunkterna* under försökens lopp undergått, hafva i allmänhet varit obetydliga. Frånsedt de små för-

[1] Jfr dock sid. 43.

flyttningar, som på grund af lödställenas förut nämnda inflytande inträffat under loppet af hvarje observationsserie, men dessemellan återgått, har för tråden II c under den tid af ungefär en månad, hvarunder dessa försök utförts, nollpunkten i allmänhet hållit sig oförändrad; (observationerna hafva utförts i följande ordning: tab. 7, 8, 6, 5, 9, 10 och 11). Det är endast under den tid af två

Tab. 11. **Manganin I c** ($t_1 = 18^0,0$).

$x = 2,055$; $y = 0,123$; $\varrho = 0,9069$; $w = 0,001581$

R	Nollp. 1	n	Nollp. 2	u	α	p	$\gamma\ 10^8$
16,10	936,5	288,5	−13,1	51,9	114,4	671	232,5
		396,5		70,7		913	232,3
		514,5		91,0		1176	231,8
		640,0		112,0		1447	231,6
		757,0		131,3		1696	231,3
		879,0		151,1		1952	231,0
		755,5		131,1		1694	231,2
		634,5		111,3		1438	231,2
		517,5		91,7		1185	231,2
	937,5	399,0	−13,6	71,4	114,4	923	231,4
13,06	927,5	527,5	− 9,5	98,3	81,4	1785	232,3
		628,0		116,1		2108	231,7
		715,5		131,1		2381	231,6
		811,5		147,5		2678	231,2
		913,0		164,3		2984	231,0
		800,0		145,7		2646	231,0
		715,0		131,5		2388	230,7
		629,0		116,7		2119	230,9
	928,0	525,5	− 9,7	98,5	81,4	1789	231,0
						Medelvärde	231,4

dagar, som förflutit mellan den första och andra observationsserien i tab. 7, som en större förändring (17 skaldelar, för $\alpha = 115$) inträdt. Denna förändring, som altså inträffat under en tid, då tråden *icke* varit utsatt för inverkan af trycket, kan förklaras på följande sätt. Det är ett kändt sakförhållande, att en manganintråd, som utsatts för böjningar och veckningar, först efter en längre tids förlopp återkom-

mer i ett inre jämvigts tillstånd, så att dess motstånd förblir konstant; för att hastigt bringa tråden i sitt slutliga jämvigtstillstånd kan man, såsom man vid förfärdigande af precisionsmotstånd af manganin brukar göra, under ungefär 10 timmar upphetta densamma till 140°. Det är vidare bekant, att äfven lödställen af tenn med tiden märkbart förändra sitt motstånd; genom lödning med silfver kan man däremot erhålla lödställen med konstant motstånd[1]. Vid de beskrifna försöken hade inga åtgärder vidtagits för undvikande af efterverkningar i de använda manganinmotstånden, samtliga lödningar hade utförts med tenn, jämförelsemotståndet hade förfärdigats och bryggan sammanlödts samma dag, som den första observationsserien i tab. 7 togs; det är då endast i sin ordning, att nollpunkten ändrats. Af *trycket* framkallade *efterverkningar* eller *permanenta förändringar* i *trådens* motstånd hafva *icke* kunnat påvisas. Vid ett tillfälle var tråden under ungefär 16 timmar utsatt för omkring 2000 atmosfärers tryck; vid tryckets upphäfvande återtog den dock genast sitt förra motstånd inom de vanliga gränserna för dess variation. Om efterverkningar förekommit, måste de altså hafva varit mycket obetydliga samt hafva ingått i de förändringar, som vi på förut anförda skäl tillskrifvit lödställenas inverkan. Då emellertid metallerna i allmänhet icke äro i strängaste mening fria från porer, så kan man dock vänta, att spår af efterverkningar och permanenta förändringar skola visa sig vid tillräckligt höga tryck; men hafva porerna väl en gång genom tryckets inverkan blifvit sammanpressade och sammansvetsade, finnes ingen anledning att tro, att förändringar af nämda slag sedan skola inträda. Fördelaktigt vore det därför, om garanti mot porositetens inflytande kunde vinnas derigenom, att tråden, före användandet, under någon tid komprimerades under högsta möjliga tryck.

Noggrannheten af de i de föregående försöken med tillhjälp af tråden IIc utförda tryckmätningarna kan, hufvudsakligen på grund af lödställenas förut nämda inflytande och osäkerheten i det använda värdet på konstanten C ej skattas högre än ungefär 1,5 %. Det är dock, af hvad vi ofvan sagt, tydligt, att tryckmätningsmetoden bör kunna gifva mycket noggrannare resultat. Lödställenas inflytande kan sålunda göras försvinnande genom användande af tillräckligt *långa* och ej för fina trådar. Genom att vidare på ofvan antydda sätt preparera de använda motstånden, genom att vid löd-

[1] Feussner u. Lindeck, Zeitschr. f. Instrum. kunde *15*, p 394; 1895.

ningen använda silfver samt genom att innesluta samtliga motstånd i långa och smala urborrningar i ett och samma stålblock böra af olika anledningar framkallade nollpunktsvandringar kunna aflägsnas. Då mätningsfelen i motståndsändringarna kunna nedbringas till en obetydlighet, äro de absoluta felen i tryckmätningsresultaten hufvudsakligen beroende af felet i tryckkoefficienten och af en möjlig afvikelse från den stränga proportionaliteten mellan motståndsändring ock tryck. Proportionalitet synes ega rum till minst 2700 atmosfärers tryck,[1] åtminstone ligger afvikelsen helt och hållet inom försöksfelen. Af hvad vi i det följande funnit angående de rena metallernas motståndsändring med trycket, är det emellertid antagligt, att en afvikelse förr eller senare skall ega rum. För de rena metallerna börjar den redan vid de låga trycken och är sedan temligen jämnt fördelad öfver det undersökta tryckområdet. Men om för manganin kurvan för motståndsändringens beroende af trycket har ett liknande förlopp, kan först vid mycket höga tryck afvikelsen från den räta linien blifva mera märkbar.

Metoden torde därför i noggrannhet, vid mätning af tryck öfver 500 atm., kunna jämföras med de bästa vi hittills ega. Framför andra nu brukliga metoder, såsom AMAGAT's manometer »à pistons libres»,[2] tryckvågar[3] och luftmanometrar[4] eger den företräde genom den absoluta frånvaron af läckning resp. frånvaron af volymsändringar; trycket kan därför under obegränsad tid hållas konstant, och tryckapparaten till sin inre volym göras obetydlig. Nödvändigheten af tryckkoefficientens bestämmande för hvarje särskild tråd gör dock metoden beroende af de nyssnämnda absoluta mätningsmetoderna. Den kan således ej fullt ersätta dessa, men däremot de metallmanometrar, som till följd af sin stora bekvämhet vanligen användas, men hvilka på grund af elastiska efterverkningar och permanenta förändringar äro mindre tillförlitliga[5]. Dock är det framför alt för mätning af tryck öfver 3000 atm., där andra noggrannare mätningsmetoder i allmänhet neka oss sin tjänst, som metoden bör kunna blifva till nytta.

---

[1] Den omständigheten, att vid de först gjorda absoluta bestämningarna af γ, hvilka utsträcktes till 4200 atm., samma värde erhållits på γ som vid de senare försöken, synes tala för att äfven till detta tryck någon större afvikelse från proportionaliteten icke kan hafva egt rum.

[2] AMAGAT, Ann. de Chim. et de Phys. (6), *29*, p. 70; 1893.

[3] CAILLETET, Ann. de Chim. et de Phys. *19*, p. 386; 1880.

[4] LUSSANA, Nuov. Cim. (4), *12*, p. 237; 1900.

[5] BARUS, Phil. Mag. (5) *31*, p. 400; 1891.

De Forest Palmer's metod med kvicksilfver i stället för manganin torde i noggrannhet och användbarhet vara ungefär likställd med vår metod, om den ock ej alltid är lika bekväm. Visserligen är tryckkoefficienten betydligt större för kvicksilfver än för manganin, men temperaturkoefficienten är det äfven i ännu högre grad; förhållandet mellan de båda koefficienterna är nämligen för kvicksilfver 0,038 och för manganin 0,07—0,3. Då den relativa noggrannheten i mätningarna af motståndsändringarna är väsentligen beroende af nämda förhållande, och då motståndsändringarna hos manganin i alla fall äro nog stora för att kunna mätas med tillräcklig skärpa, så blir fördelen med den större tryckkoefficienten neutraliserad. Kvicksilfvertrådens inneslutande i ett glasrör medför dessutom den olägenheten, att temperaturvariationen vid tryckändringen endast långsamt utjämnas. De båda metoderna böra emellertid vid mätning af de mycket höga trycken kunna delvis kontrollera hvarandra.

IV. Undersökning af några rena metaller och legeringar till 3000 atmosfärers tryck.

1. Metod, observationer och resultat.

Då de orienterande undersökningarna öfver metallernas motståndsändring med trycket utfördes endast inom ett ganska begränsadt tryckområde, och då äfven invändningar kunde framställas mot de använda mätningsmetoderna, behöfdes för frågans utredande nya undersökningar. Dessa utfördes med tillhjälp af samma tryckapparat och med samma experimentela anordning i öfrigt, som användts vid de nyss beskrifna jämförande försöken med manganin. Trycket mättes altså med tillhjälp af manganintråden IIc, som hela tiden behölls på sin plats i orubbadt skick. Försökstråden, som förut i regel glödgats med elektrisk ström, insattes, sedan den öfverspunnits med silke, på vanligt sätt i det mindre stålblocket; vid dessa försök hade dock de manganinstift, vid hvilka manganintråden förut fastlöddes, blifvit ersatta med dylika af koppar. Jämförelsemotståndet var af manganin och innehade samma plats som förut. Samtliga försök utfördes vid 0^0. Genom att tidt och ofta röra om och väl packa isen omkring stålblocket kunde vid mätningarnas utförande nära nog samma konstanta temperatur tilldelas detsamma. Glidkontaktens inställning skedde såsom förut under *momentan* strömslutning, och läget af nollp. 1 bestämdes vid hvarje särskildt försök. För kompressionsvärmets afgifvande erfordrades i allmänhet en tid af 12—15 minuter. Efter förloppet af denna tid visade sig motståndet vara konstant, äfven om tryckets inverkan varade i flere timmar.

Följande ämnen hafva undersökts: *koppar*, elektrolytiskt framställdt, från M. Sievert's Fabriks Aktiebolag, Stockholm, två prof af olika sändningar; *bly*, »purissimum», från Dr Scuckhardt, Dessau; *silfver*, *platina*, *nickel* och *platinairidium* (90 *Pt*, 10 *Ir*) samtliga från firman E. Merck, Darmstadt; *konstantan* (60 *Cu*, 40 *Ni*) från firman Basse et Selve i Altena.

De »rena» metallernas renhetsgrad har godhetsfullt undersökts af Amannensen vid härvarande kemiska institution, Fil. Licentiaten G. Hellsing, som därom lemnat följande uppgifter:

Koppar I: Analysresultat: 99,97 % *Cu*; andra metaller kunde ej påvisas.
Bly: » 99,93 % *Pb*; » » » » »
Silfver: » 99,76 % *Ag*, 0,08 % *Cu*, spår af *C*.
Platina: Förorenadt med minst 0,28 % *Ir*.
Nickel: Analysresultat: 100,08 % *Ni*; andra metaller kunde ej påvisas.

Tabellerna 13—16 samt 18—21 innehålla vid försöken erhållna observationer och mätningsresultat; beteckningssättet är det förut använda. Tabellernas femte kolumn innehålla: för nickel och konstantan de ur hvarje försök beräknade värdena på tryckkoefficienten γ, för öfriga ämnen de erhållna relativa motståndsändringarna. Dessa äro i samtliga fall *negativa;* motståndet *minskas* altså med trycket. För *nickel* och *konstantan* äro de vid olika tryck erhållna värdena på γ inom observationsfelen lika; för dessa ämnen aftager altså motståndet *proportionelt* mot trycket. Vid beräkning af tryckkoefficienten för öfriga ämnen befanns däremot densamma numeriskt aftaga med trycket. Då motståndet för dessa ämnen altså icke låter uttrycka sig såsom en liniär funktion af trycket, har jag försökt använda formeln

$$x_p = x\,(1 + \gamma p + \delta p^2)$$

där x_p = motståndet vid p^{atm} och x vid 0^{atm}.

Med minsta kvadratmetoden har jag ur de observerade motståndsändringarna beräknat konstanterna γ och δ och därvid funnit de värden, som innehållas i följande tabell.

Tabell 12.

	γ	δ
Koppar I	$-0{,}0_5 1933$	$+0{,}0_{10}38$
Bly	$-0{,}0_4 1444$	$+0{,}0_9\ 24$
Silfver	$-0{,}0_5 3592$	$+0{,}0_{10}86$
Platina	$-0{,}0_5 1827$	$+0{,}0_{10}41$
Platina-Iridium	$-0{,}0_6 973$	$+0{,}0_{10}13$

Tab. 13. **Koppar I** (ej urglödgad).

Sp. v. = 8,96. Trådens längd = 2,01 m; diam. = 0,18 mm.

$x = 1{,}155$; $y = 0{,}110$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001577$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (ber.)	Diff.
21,10	928	438	808	152,1	153,7	−1,6
	928	587	1101	206,4	207,3	−0,9
	921	766	1455	273,4	273,2	+0,2
	918	885	1708	318,7	319,1	−0,4
	927	902	1745	325,3	325,8	−0,5
21,07	913	208	370	71,9	71,0	+0,9
	908	331	607	115,5	115,9	−0,4
	906	472	878	166,6	166,8	−0,2
	904	680	1274	243,7	240,1	+3,6
	904	838	1606	304,2	300,6	+3,6
	904	837	1613	303,6	301,9	+1,7
17,46	914	535	1469	273,7	275,8	−2,1
	913	648	1800	335,0	335,6	−0,6
	913	769	2162	401,9	400,2	+1,7
	911	884	2541	467,0	466,7	+0,3
14,37	898	609	2525	463,6	463,9	−0,3
	897	692	2915	531,4	531,3	+0,1
	898	647	2717	494,5	497,2	−2,7
14,35	885	610	2542	465,7	466,9	−1,2
	886	651	2733	498,8	500,0	−1,2
	886	694	2919	534,8	531,9	+2,9
	886	682	2879	524,8	525,1	−0,3
	886	272	1068	200,1	202,1	−2,0

De med dessa värden på γ och δ återberäknade värdena på motståndsändringarna återfinnas i tabellernas sjette kolumn; den sjunde kolumnen innehåller differenserna mellan de beräknade och observerade värdena. Differenserna öfverstiga i allmänhet ej en à två procent af de uppmätta motståndsändringarna; denna öfverensstämmelse måste betraktas såsom särdeles god och bevisar användbarheten af ofvan anförda formel. För koppar II hafva motståndsändringarna beräknats med användande af de för koppar I funna konstanterna; äfven i detta fall ligga differenserna inom ofvan angifna gränser.

Tab. 14. **Koppar II** (urglödgad)

Sp. v. = 8,94. Trådens längd = 1,744 m; diam = 0,2 mm.

$x = 0{,}9123$; $y = 0{,}1211$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001578$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (ber.)	Diff.
21,14	950	348	647	124	124	± 0
	950	480	912	173	173	+ 0
	951	600	1150	218	217	+ 1
21,15	956	712	1400	261	263	- 2
	954	770	1510	283	283	+ 0
21,16	960	890	1780	330	332	- 2
14,43	935	461	1920	354	357	3
	935	540	2290	419	423	− 4

Tab. 15. **Bly**.

Sp. v. = 11,39. Trådens längd = 0,545 m; diam. = 0,60 mm.

$x = 0{,}4071$; $y = 0{,}1103$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001579$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^4$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^4$ (ber.)	Diff.
6,670	892,0	875,0	2791	385,2	384,0	+1,2
	890,5	879,5	2805	387,7	385,8	+1,9
	890,0	792,0	2460	341,4	340,4	+1,0
	890,0	704,0	2132	297,2	296,8	+0,4
	889,8	595,3	1751	244,8	245,4	−0,6
	889,4	832,4	2610	362,5	360,3	+2,2
	888,2	743,2	2288	316,7	317,6	−0,9
	887,7	653,7	1958	272,6	273,4	−0,8
	887,7	547,7	1599	222,6	224,6	−2,0
	888,7	439,7	1240	174,3	175,3	−1,0
	888,7	474,7	1349	190,0	190,3	−0,3
8,615	918,0	815,0	1493	209,0	210,1	−1,1
	915,5	686,5	1232	172,0	174,2	−2,2
	916,0	564,0	983	138,0	139,6	−1,6
	917,3	572,3	993	140,4	141,0	−0,6
8,632	926,0	455,0	755	108,9	107,6	+1,3
	925,5	299,5	491	69,6	70,3	−0,7
	929,5	437,5	719	104,4	102,5	+1,9
	928,5	371,5	612	87,5	87,4	+0,1
	929,8	312,3	506	72,9	72,4	+0,5
	930,5	450,0	747	107,6	106,5	+1,1

Tab. 16. **Silfver.**

Sp. v. = 10,53. Trådens längd = 2,00 m; diam = 0,25 mm.

$x = 0{,}6323$; $y = 0{,}1211$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001579$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (ber.)	Diff.
21,14	955	595	645	227	228	− 1
	951	869	964	339	338	+ 1
17,52	949	738	1191	416	416	± 0
14,39	912	518	1210	424	422	+ 2
	911	721	1756	604	604	± 0
	912	771	1899	649	651	− 2
	912	839	2091	711	714	− 3
	912	838	2080	710	710	± 0
	911	522	1227	427	428	− 1
	910	562	1327	462	462	± 0
	910	616	1471	510	510	± 0
11,36	903	574	2235	759	760	− 1
	902	697	2786	938	933	+ 5
	902	554	2127	730	725	+ 5
	903	602	2359	801	800	+ 1
	903	661	2639	885	888	− 3

Huru stor afvikelsen från proportionaliteten mellan motståndsändring och tryck är, framgår något åskådligare af följande tabell, där tryckoefficienterna γ_p, beräknade enligt formeln

$$\gamma_p = \frac{1}{r}\frac{dr_p}{dp} = \gamma + 2\delta p$$

äro angifna för $p = 0$, 1000, 2000 och 3000 atmosfärer.

Tabell 17.

	γ_0	γ_{1000}	γ_{2000}	γ_{3000}
Koppar I	$-0{,}0_5193$	$-0{,}0_5186$	$-0{,}0_5178$	$-0{,}0_5170$
Bly	$-0{,}0_4144$	$-0{,}0_4140$	$-0{,}0_4135$	$-0{,}0_4130$
Silfver	$-0{,}0_5359$	$-0{,}0_5342$	$-0{,}0_5325$	$-0{,}0_5308$
Platina	$-0{,}0_5183$	$-0{,}0_5175$	$-0{,}0_5166$	$-0{,}0_5158$
Platina-Iridium	$-0{,}0_697$	$-0{,}0_695$	$-0{,}0_692$	$-0{,}0_690$

Tryckkoefficienten är följaktligen vid 3000 atmosfärer för koppar 11 %, för bly 10 %, för silfver 14 %, för platina 13 % och för platinairidium 8 % mindre än vid en atm.

Tab. 18. **Platina.**

Sp. v. = 21,85. (?)

Trådens diam = 0,20 mm.

$x = 7{,}792$; $y = 0{,}110$; $\varrho = 9{,}818$; $w = 0{,}001578$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (ber.)	Diff.
48,17	940	537	1760	307	309	− 2
»	948	773	2580	444	444	± 0
48,15	930	528	1710	302	301	+ 1
48,17	945	847	2810	488	482	+ 6
48,20	964	834	2800	480	479	+ 1
48,23	977	717	2370	410	410	± 0
48,12	911	621	2060	356	360	− 4
	909	609	2020	349	352	− 3
	907	526	1740	301	306	− 5
48,15	924	729	2420	419	418	+ 1
	924	467	1480	266	262	+ 4
	924	419	1330	239	237	+ 2
	920	322	1030	183	184	− 1
	916	344	1080	196	188	+ 8
67,74	920	870	1490	265	262	+ 3
	904	776	1350	236	238	− 2
	884	869	1520	265	268	− 3

Några större ensidigt verkande fel i de gjorda mätningarna af motståndsändringarna torde ej vara att befara. Tryckapparaten har nämligen varit fullkomligt läckfri; möjligheten af temperaturens sänkning genom ett kontinuerligt tryckfall är altså utesluten. Då vidare för de här undersökta ämnena goda lödställen, med litet öfvergångsmotstånd, utan svårighet kunnat erhållas, torde ej häller större motståndsändringar i lödställena hafva inträffat; detta har ju äfven blifvit direkt konstateradt för koppar (sid. 27). Om lödställenas motståndsändring antages för alla trådarna hafva varit af

samma absoluta storlek som för koppar, så skulle dess relativa inflytande på motståndsändringarna i ogynsammaste fall kunnat uppgå till endast 0,5 %. De förut (sid. 42) anmärkta felen i tryckmätningarna äro äfvenledes små, dock jämte lödställenas inflytande verkande i riktning att göra de relativa motståndsändringarna vid låga tryck för stora och vid höga för små. Summan af samtliga fel i tryckkoefficienterna torde ej öfverskrida 3 %, ett fel, som är fullkomligt betydelselöst, då nog olikhet i struktur i allmänhet kan väntas medföra lika stora eller större förändringar i tryckkoefficienten.

Tab. 19. **Nickel.**

Sp. v. = 8,84.

Trådens längd = 1,015 m; diam. = 0,46 mm

$x = 0{,}6163$; $y = 0{,}1211$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001579$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\gamma . 10^8$
21,03	882	634	1760	140,1
	882	787	2190	141,4
21,01	865	647	1785	141,5
	862	533	1425	144,9
	869	756	2105	141,3
21,04	885	292	779	142,1
21,02	878	296	788	142,6
	876	380	1023	141,9
	875	472	1278	142,0
	874	559	1530	141,4
	874	649	1789	141,3
	878	733	2021	142,3
21,06	898	768	2105	143,0
16,69	934	492	2121	141,6
	932	576	2469	143,6
	929	668	2841	141,7
16,66	917	643	2776	143,9

Medelvärde 142,2

Tab 20. **Platina-Iridium.**

Sp. v. = 12,73. Trådens längd = 0,203 m; diam. = 0,20 mm.

$x = 1{,}762$; $y = 0{,}121$; $\varrho = 0{,}9067$; $w = 0{,}001578$

R	Nollp. 1	$-n$	p	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (obs.)	$-\frac{\Delta x}{x} \cdot 10^5$ (ber.)	Diff.
21,08	913	357	1260	121	121	± 0
	913	435	1560	148	149	− 1
	913	523	1850	179	176	+ 3
	914	358	1260	121	120	+ 1
21,12	938	464	1610	158	154	+ 4
	940	543	1920	186	182	+ 4
	943	345	1190	116	114	+ 2
	943	283	986	95	95	± 0
21,14	948	368	1320	124	126	− 2
»	952	687	2530	237	238	− 1
21,16	965	735	2780	254	260	− 6
21,12	938	622	2300	214	217	− 3
21,14	953	748	2760	259	259	± 0
21,16	963	477	1700	162	161	+ 1
»	969	696	2620	240	245	− 5

Tab. 21. **Konstantan.**

Trådens längd = 1,00 m; diam. = 0,30 mm.

$x = 7{,}999$; $y = 0{,}101$; $\varrho = 9{,}818$; $w = 0{,}001578$

R.	Nollp. 1	$-n$	p	$-\gamma \cdot 10^8$
67,53	780	394	2690	44,4
	779	404	2760	44,4
	777	330	2240	43,6
	773	281	1960	43,4
	770	231	1590	43,8
	770	182	1250	44,1
	769	127	870	44,0
67,48	739	381	2630	43,9
	742	333	2300	43,8
	745	283	1930	44,4
	745	233	1600	44,1
	746	185	1240	45,0
			Medelvärde	44,1

2. Jämförelse med förut erhållna resultat.

Jämföra vi de senast funna värdena på tryckkoefficienten med de förut erhållna (tab. II), så finna vi, att för koppar och nickel skilnaden i värdena är anmärkningsvärdt stor. Koppartråden I var dock samma tråd, som användts vid de orienterande undersökningarna, metod II. Detta bevisar tillvaron af en, åtminstone i vissa fall, betydande felkälla i den äldre metoden[1]. Tvifvelsutan hafva vi att söka denna i strömvärmets inflytande på motståndet. Visserligen hade bryggan anordnats så symmetriskt som möjligt, men vid tryckets höjande blef symmetrien störd. Genom kompressionen synes oljans förmåga att genom ledning och konvektion bortföra värmet hafva minskats; trådens temperatur har följaktligen vid stationärt tillstånd blifvit högre än förut, och de uppmätta motståndsminskningarna för små. Beräknas ur differensen mellan de båda värdena på γ den stationära temperaturhöjningen per atmosfär, befinnes denna vara = $0^0{,}0001$; vid det högsta använda trycket, 300 atm., skulle altså temperaturhöjningen hafva varit = $0^0{,}03$, hvilket icke förefaller omöjligt. I samma riktning, ehuru sannolikt i mycket mindre grad kan ofullständighet i kompressionsvärmets afgifvande till vattenbadet hafva verkat, all den stund omrörning af badet ej egde rum.

Den nämnda felkällan, som altså sträfvar att göra de negativa tryckkoefficienterna numeriskt för små och de positiva för stora, är naturligtvis af större betydelse ju större förhållandet mellan temperaturkoefficienten och tryckkoefficienten och ju mindre försökstrådens diameter är. Såsom tabell II utvisar, ställa sig förhållandena i dessa afseenden ogynsammast för koppar och nickel. För nysilfver är värdet på γ äfvenledes mycket osäkert, i synnerhet som på grund af tryckkoefficientens ringa storlek en strömstyrka, något större än vanligt, måste användas; äfven om värdet på γ af detta skäl måste anses vara för stort och i verkligheten måhända är negativt, så är det dock med visshet konstateradt, att tryckkoeffi-

[1] Den påpekade skilnaden kan ej till någon större del bero därpå, att resp. försök utförts vid *olika temperaturer*. Vid försök med en hårddragen tråd af koppar II, hvarvid jämförelsemotståndet (af koppar) inlades i bottenplattan till stålblocket *X*, har jag nämligen funnit tryckkoefficienten vara endast 3 % större vid 0^0 än vid rumstemperatur och för öfrigt inom försöksfelen lika som för koppar I. Vid ett liknande försök med bly befanns tryckkoefficienten vara fullkomligt oberoende af temperaturen.

cienten för nysilfver, är mycket liten. För öfriga ämnen äro de af nämda felkälla framkallade felen i γ säkerligen mycket mindre, för manganin och de båda manganrikare legeringarna t. o. m. omärkliga. För bly erhöllos samma värden på γ, då strömstyrkan fördubblades, hvilket bevisar, att felet för denna tråd är utan betydelse; afvikelsen mellan de båda värdena för bly uppgår också till mindre än 1 %. För zink är osäkerheten något större; jag tror dock ej, att felet i γ kan uppgå till 10 %. Värdena på tryckkoefficienterna, gällande för låga tryck, äro sammanstälda i tabell 22.

Af den omständigheten, att för flere på olika sätt behandlade koppartrådar, hvilkas kemiska sammansättning ej kan hafva varit mycket olika, *samma* värde på tryckkoefficienten erhållits, synes framgå, att tillfälliga olikheter i inre struktur ej i någon högre grad inverka på tryckkoefficientens storlek. Äfven för manganin, där vid urglödgning de största variationerna i tryckkoefficienten erhållits, äro dessa ej större, än hvad man kan vänta, då äfven den specifika vigten, det specifika ledningsmotståndet och i synnerhet hårdheten varierat rätt afsevärdt.

Att porositeten altid varit obetydlig framgår däraf, att i intet fall en permanent motståndsändring med trycket kunnat konstateras. Likväl må härvid anmärkas, att då, för profvande af apparatens läckfrihet, tråden blifvit komprimerad en gång, innan mätningarna började, jag ej vet om någon permanent motståndsändring därvid möjligen inträffat. Porositetens obetydlighet hos de undersökta rena metallerna framgår för öfrigt äfven af de allmänhet höga värdena på de specifika vigterna.

V. Försök att bestämma tryckkoefficienten för det specifika ledningsmotståndet.

Då för en isotrop fast kropp, som utsättes för ett allsidigt tryck, kompressionens storlek är densamma i alla riktningar, är det tydligt, att man ur den direkt funna tryckkoefficienten γ kan beräkna tryckkoefficienten γ_s för det *specifika* ledningsmotståndet, blott man känner värdet på den kubiska kompressionskoefficienten $\varkappa$. Det låter sig nämligen lätt bevisas, att

$$\gamma = \gamma_s + \frac{\varkappa}{3}$$

Den kubiska kompressionskoefficienten är emellertid en ytterst svåråtkomlig storhet. Direkta bestämningar af densamma hafva dock utförts af AMAGAT[1], hvilken undersökt bland annat bly och koppar. Då enligt elasticitetsteorien

$$\varkappa = 3.\ 0{,}01033\,\frac{1}{E}\,(1 - 2\mu)$$

där E betecknar elasticitetskoefficienten, uttryckt i kg/mm², och μ den s. k. POISSON's konstant, skulle man äfven kunna *beräkna* $\varkappa$, om man blott kände värdena på E och μ. Konstanten E kan man, som bekant, utan större svårigheter approximativt bestämma, men svårare är att finna ett tillförlitligt värde på μ. De hittils af olika experimentatorer funna värdena på μ variera nämligen i hög grad. De bästa bestämningarna af μ för metaller torde vara de, som utförts af AMAGAT[2]; ett kriterium på deras tillförlitlighet hafva vi i den omständigheten, att, vid beräkning af $\varkappa$ ur E och de funna värdena på μ, värden erhållits, som väl öfverenstämt med de direkt

[1] AMAGAT, Ann. de Chim. et de Phys. (6) *22.* p. 95; 1891,

[2] AMAGAT, l. c.; C. R. *108,* p. 228, 727, 1199; 1889.

funna värdena på $\varkappa$. Enligt Amagat är för en ideal isotrop fast kropp $\mu = 0{,}25$, och för en vätska $\mu = 0{,}50$. För metaller och andra ämnen, som äro mer eller mindre mjuka och lätt undergå permanenta deformationer, anser Amagat på grund af sina försök, att μ städse har något värde, som ligger *mellan* dessa båda yttervärden. Härom uttalar han sig sålunda:[1] »Il me paraît resulter de ... que la valeur de μ, theoriquement égale à 0,50 pour les liquides, decroît dans l'échelle des corps, en passant par tous les états intermediaires (pâteux, visqueux etc. et, par suite, pour un même corps passant par ces divers états) et se rapproche de 0,50, au fur et à mesure que les corps deviennent de plus en plus parfaitement elastiques. Sans doute, aucun corps ne réalise strictement cette condition. Pour le verre, qui s'en rapproche le plus, la valeur de μ a sensiblement atteint la limite; l'acier vient ensuite, puis le cuivre, puis le plomb; le caoutchouc est à l'autre bout de l'echelle ...» För den mjukaste af de undersökta metallerna, bly, erhöll Amagat $\mu = 0{,}4282$ och för den hårdaste, stål, $\mu = 0{,}2866$; för koppar, messing och deltametall erhöllos värden, som ej mycket afvika från $^1/_3$. Äfven Benton[2] har genom direkt uppmätning af tvärkontraktionen vid sträckning af metalltrådar funnit värden, som städse ligga mellan 0,25 och 0,50; bland de af mig använda ämnena har han dock undersökt endast koppar och nickel.

Då nu de flesta af mig i afseende på tryckkoefficienten undersökta ämnena äro att räkna bland de medelhårda, så har jag för erhållande af ett approximativt värde på kompressionskoefficienten beräknat densamma för samtliga trådar (utom bly och koppar, för hvilka ämnen Amagat's värden på $\varkappa$ användts) under det antagandet, att μ städse varit $= {}^1/_3$. Gifvetvis äro de sålunda erhållna värdena mycket osäkra. Men då, i alla händelser $0 < \mu < 0{,}5$, måste det verkliga värdet på $\varkappa$ ligga mellan noll och det värde, som erhålles genom att i formeln insätta $\mu = 0$; sistnämda maximivärde är 3 gånger större än det för $\mu = {}^1/_3$ erhållna värdet. I tabell 22 äro de beräknade värdena på $\varkappa$ och γ_s angifna äfvensom de värden på tryckkoefficienten för det specifika ledningsmotståndet γ'_s, som erhållits med användande af maximivärdet på $\varkappa$. De verkliga värdena på γ_s böra då, hvilket värdet på μ än må vara, ligga mellan de direkt funna värdena på γ och de beräknade γ'_s.

---

[1] Amagat, C. R. *108* p. 1201; 1889.

[2] Benton, Ann. der Phys. *3*, p. 482; 1900.

Tab. 22.

	E	$\varkappa$	γ	γ_s	γ'_s	$\frac{\gamma_s}{\varkappa}$
Bly	—	$0{,}0_5 2761$	$-0{,}0_4 144$	$-0{,}0_4 153$	—	$-5{,}6$
Zink	9000	$0{,}0_5 12$	$-0{,}0_5 61$	$-0{,}0_5 65$	$-0{,}0_5 73$	$-5{,}4$
Silfver	7300	$0{,}0_5 14$	$-0{,}0_5 359$	$-0{,}0_5 41$	$-0{,}0_5 50$	$-3{,}0$
Koppar	—	$0{,}0_6 857$	$-0{,}0_5 193$	$-0{,}0_5 222$	—	$-2{,}5$
Platina	17000	$0{,}0_6 6$	$-0{,}0_5 183$	$-0{,}0_5 20$	$-0{,}0_5 24$	$-3{,}3$
Nickel	20000	$0{,}0_6 5$	$-0{,}0_5 142$	$-0{,}0_5 16$	$-0{,}0_5 19$	$-3{,}2$
Platina-Iridium	—	—	$-0{,}0_6 97$	—	—	—
Konstantan	16800	$0{,}0_6 6$	$-0{,}0_6 441$	$-0{,}0_6 6$	$-0{,}0_5 10$	$-1{,}0$
Nysilfver	12000	$0{,}0_6 9$	$+0{,}0_7 8$	$-0{,}0_6 2$	$-0{,}0_6 8$	$-0{,}2$
Koppar-Mang. leg. n:o 1	13400	$0{,}0_6 8$	$+0{,}0_5 147$	$+0{,}0_5 12$	$0{,}0_6 7$	$+1{,}5$
» » » n:o 2	12100	$0{,}0_6 9$	$+0{,}0_5 243$	$+0{,}0_5 21$	$+0{,}0_5 15$	$+2{,}3$
» » » n:o 3	13100	$0{,}0_6 8$	$+0{,}0_5 258$	$+0{,}0_5 23$	$+0{,}0_5 18$	$+2{,}9$
Manganin II a	12200	$0{,}0_6 9$	$+0{,}0_5 220$	$+0{,}0_5 19$	$+0{,}0_5 13$	$+2{,}1$

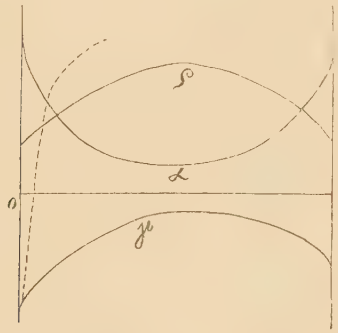
Af denna tabell synes, att γ och γ_s i allmänhet hafva samma tecken, samt att de äfven numeriskt ej synnerligen mycket skilja sig från hvarandra. *Den vid kompressionen inträdande motståndsändringen har altså i vanliga fall hufvudsakligen sin grund i en förändring i det specifika ledningsmotståndet; förändringen i längd och genomskärningsarea är af mindre betydelse.*

För de rena metallerna äro γ och γ_s städse negativa[1]; med afseende på storleken följa de ungefär samma ordning som kompressionskoefficienten $\varkappa$; endast för zink och silfver är ordningen, måhända endast skenbart, omkastad. Samma ordning följes äfven af ämnenas smältpunkter; undantag utgöra platina och nickel, hvilkas smältpunkter ligga högst.

För legeringarna är tryckkoefficienten hufvudsakligen beroende af den kemiska sammansättningen; i detta afseende synes den följa lagar, liknande dem, som temperaturkoefficienten och det specifika ledningsmotståndet följa. För en serie legeringar af två metaller variera, som bekant, det specifika ledningsmotståndet ϱ och tempera-

[1] En liknande förändring i det specifika ledningsmotståndet inträffar äfven vid metallers smältning; såsom Mateucci, de la Rive m. fl. uppvisat, inträffar nämligen en ökning i motståndet för sådana metaller, som vid smältning öka i volym, men ett aftagande för sådana, som minska i volym.

turkoefficienten α i enlighet med de i vidstående figur uppdragna kurvorna, där abscissan betecknar mängden af den i legeringen ingående ena metallen, uttryckt i procent. Det synes nu, som skulle γ resp. γ_s variera enligt den i figuren uppdragna tredje kurvan. Sålunda är för konstantan (60 *Cu*, 40 *Ni*) γ flere gånger mindre än för koppar och nickel, för platina-iridium mindre än för platina o. s. v. För koppar-manganlegeringarna har förändringen i den antydda riktningen gått ända därhän, att γ bytt om tecken; kurvan har utgående från det negativa värdet på γ för ren koppar stigit så starkt, att abscissaxeln korsats (såsom den prickade linien antyder) och detta redan vid en manganhalt af mindre än 0,9 %. För dessa legeringar äro emellertid äfven variationerna i ϱ och α oerhördt stora, såsom af tabell 2 framgår; det synes sålunda som skulle en stark variation i ϱ och α åtföljas af en stark variation äfven i γ. För bly och beslägtade ämnen åstadkommer en mindre tillsats af främmande ämnen endast obetydliga variationer i ϱ och α; då vi för tvänne blyprof, af hvilka det ena varit rent, det andra sannolikt förorenadt, funnit samma värde på γ (sid. 54) synes detta antyda, att för bly äfven tryckkoefficienten är mindre känslig för föroreningar.



Zusammenfassung.

Die oben beschriebenen Untersuchungen über den Einfluss des hydrostatischen Drucks auf den elektrischen Leitungswiderstand bei Metallen wurden für Kupfer, Blei, Nickel, Silber, Platin, Platin-Iridium und Konstantan bei 0^0 Temp. und 1—3000 Atmosphären Druck, für Zink, Neusilber und eine Reihe Kupfer-Mangan-Legierungen bei Zimmertemperatur und 1—300 Atmosphären Druck ausgeführt. Ausserdem wurden verschiedene Sorten von Manganin sowohl bei 0^0 wie bei Zimmertemperatur innerhalb des Druckgebietes von 1—3000 Atmosphären untersucht.

Die Ergebnisse, die in den meisten Hinsichten wesentlich von denen abweichen, die LUSSANA zuvor erhalten, sind in Kürze folgende:

1. Wenn ein homogener Metalldraht der Einwirkung allseitigen Druckes ausgesetzt wird, so tritt im allgemeinen eine temporäre Veränderung in seinem Widerstande ein. Die Widerstandsänderung tritt wahrscheinlich momentan mit der Druckänderung ein und bleibt konstant, so lange der Druck unverändert bleibt; der Widerstand ist unter sonst gleichen Verhältnissen abhängig nur von der Grösse des Druckes und unabhängig von dem vorhergehenden Druckzustande.

2. Die Beziehung zwischen Widerstand und Druck lässt sich durch die Formel ausdrücken

$$x_p = x_0 (1 + \gamma p + \delta p^2) ,$$

wo x_p und x_0 den Widerstand bei p bezw. 0 Atmosphären Druck bezeichnen und γ und δ Konstanten sind, die für verschiedene Stoffe verschieden sind (Tab. 12 u. 22). Die Konstante δ ist immer

sehr klein, weshalb die Widerstandsänderungen annähernd proportional den Druckänderungen sind; für einige Stoffe (Nickel, Konstantan und Manganin) scheint δ nahezu = 0 zu sein.

3. Für reine Metalle ist γ stets negativ; der Widerstand *nimmt* also mit dem Druck *ab*. Für Legierungen ist γ gleichfalls im allgemeinen negativ, aber, ähnlich wie der Temperaturkoeffizient, seinem numerischen Wert nach kleiner als für die in die betr. Legierungen eingehenden reinen Metalle; für die untersuchten Kupfermanganlegierungen ging die Änderung in dieser Richtung so weit, dass γ positiv wurde.

4. Die erhaltene Widerstandsänderung beruht im allgemeinen zum grössten Teil auf einer entsprechenden Änderung im *spezifischen* Leitungswiderstande. (In Tab. 22 sind die Druckkoefficienten γ_s für den spezifischen Leitungswiderstand berechnet unter der Annahme, dass Poisson's Konstante $\mu = 1/3$ ist).

5. Man kann die Änderung des Widerstandes mit dem Druck bei gewissen Legierungen benutzen zur Messung hoher Drucke. Hierzu eignet sich am besten das Manganin, dessen Druckkoeffizient verhältnismässig gross nnd Temperaturkoeffizient klein ist; der Einfluss der Temperaturänderung, die die Kompression begleitet, ist daher unbedeutend und kann leicht eliminiert werden. Da die Widerstandsänderungen den Druckänderungen bis auf mindestens 3000 Atmosphären Druck proportional sind, müssen relative Druckmessungen mit nahezu derselben Genauigkeit ausgeführt werden können, wie die Messungen der relativen Widerstandsänderungen. Zur Erreichung dieser Genauigkeit ist jedoch erforderlich,

a) dass der Einfluss von Temperaturvariationen vollständig eliminiert wird; dieses kann, wenn die Widerstände in der Wheatstone'schen Brücke gemessen werden, dadurch geschehen, dass die vier Arme der Brücke aus Manganindrähten (mit *konstantem* Widerstand) bestehen, die in langen und schmalen Kanälen in einem und demselben Metallblock eingeschlossen sind;

b) dass die durch den Druck hervorgerufenen Änderungen im Übergangswiderstand an den Lötstellen u. s. w. verschwindend klein sind im Vergleich mit den Änderungen im Widerstand des Manganindrahtes; dieses ist zu erreichen durch Anwendung hinreichend langer Drähte;

c) dass der dem Druck ausgesetzte Manganindraht frei ist von grösseren Poren; wenn solche Fehler vorhanden sind, müssen sie

durch eine vorhergehende Kompression des Drahtes unter höchstmöglichen Druck unschädlich gemacht werden können.

Die Widerstandsänderungen können bequem mittelst Galvanometerausschlägen gemessen werden; wird grössere Genauigkeit beabsichtigt, so können sie geeigneterweise nach der Nullmethode durch Änderung des Widerstandes in einem Nebenschluss zu einem der Brückenarme gemessen werden Im letztgenannten Fall dürften bei Drucken, die grösser als 500 Atmosphären sind, die Widerstandsänderungen relativ bis auf 0,1 % genau bestimmt werden können.

Fig. 1. (1/4 storlek)

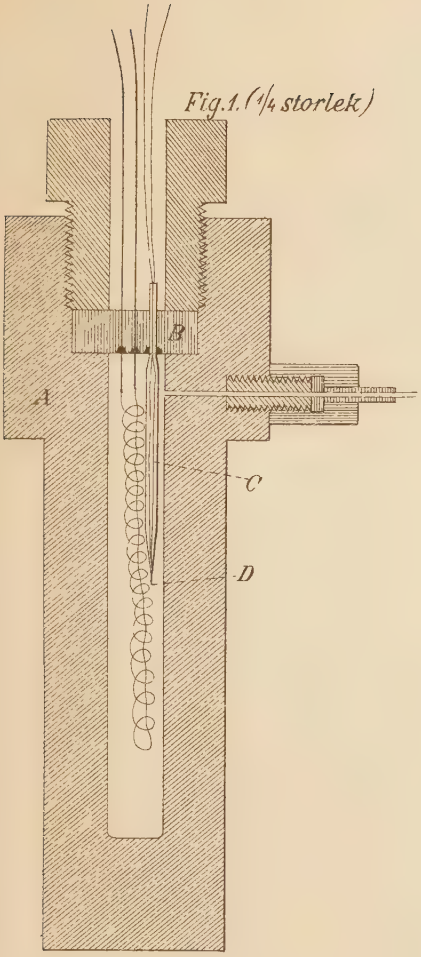


Fig. 2. (1/2 storlek).

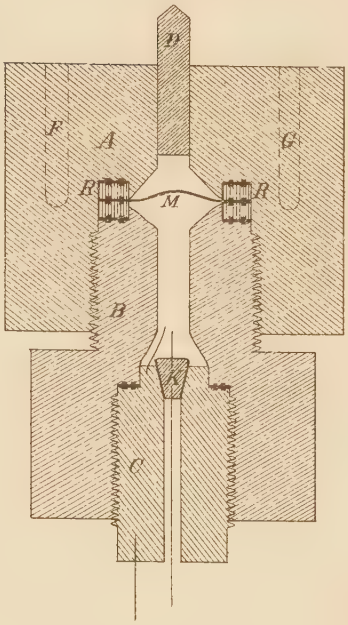
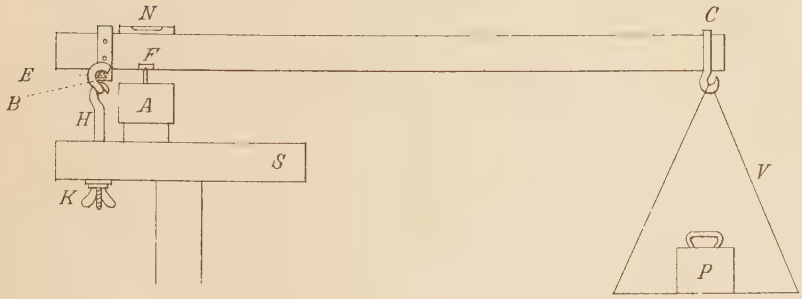
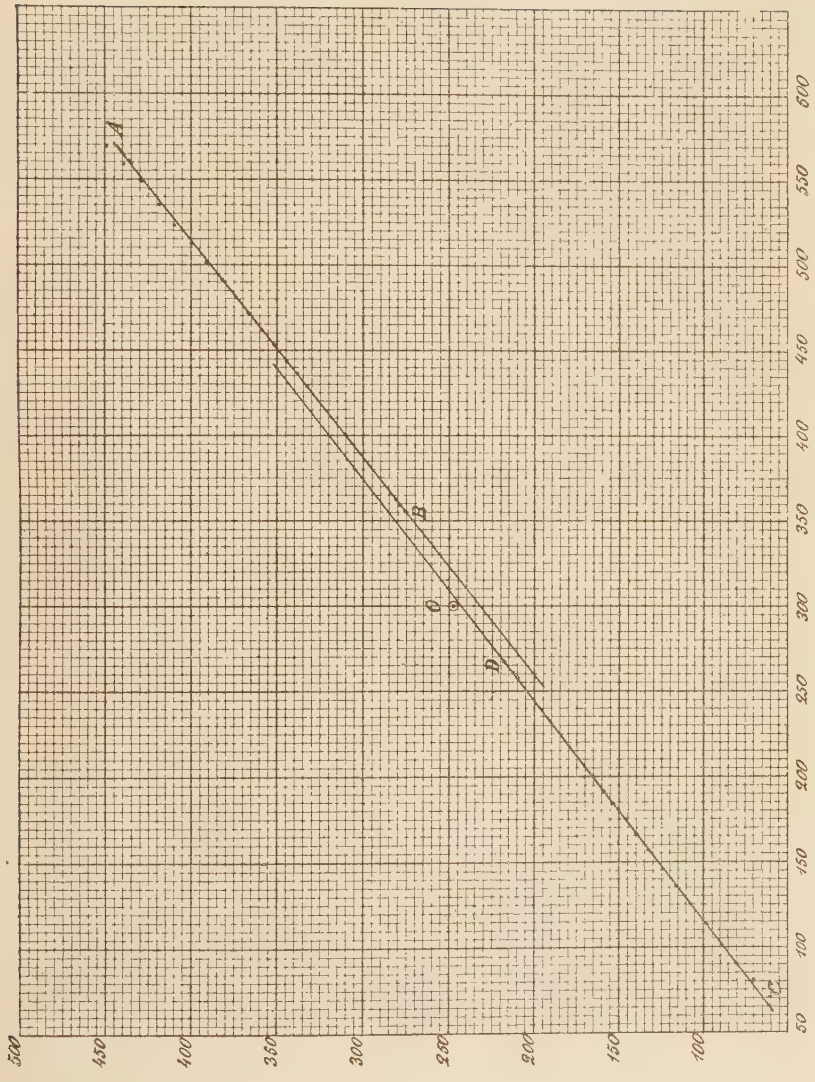


Fig. 3. (1/15 storlek).




500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
A
B
C
D
E

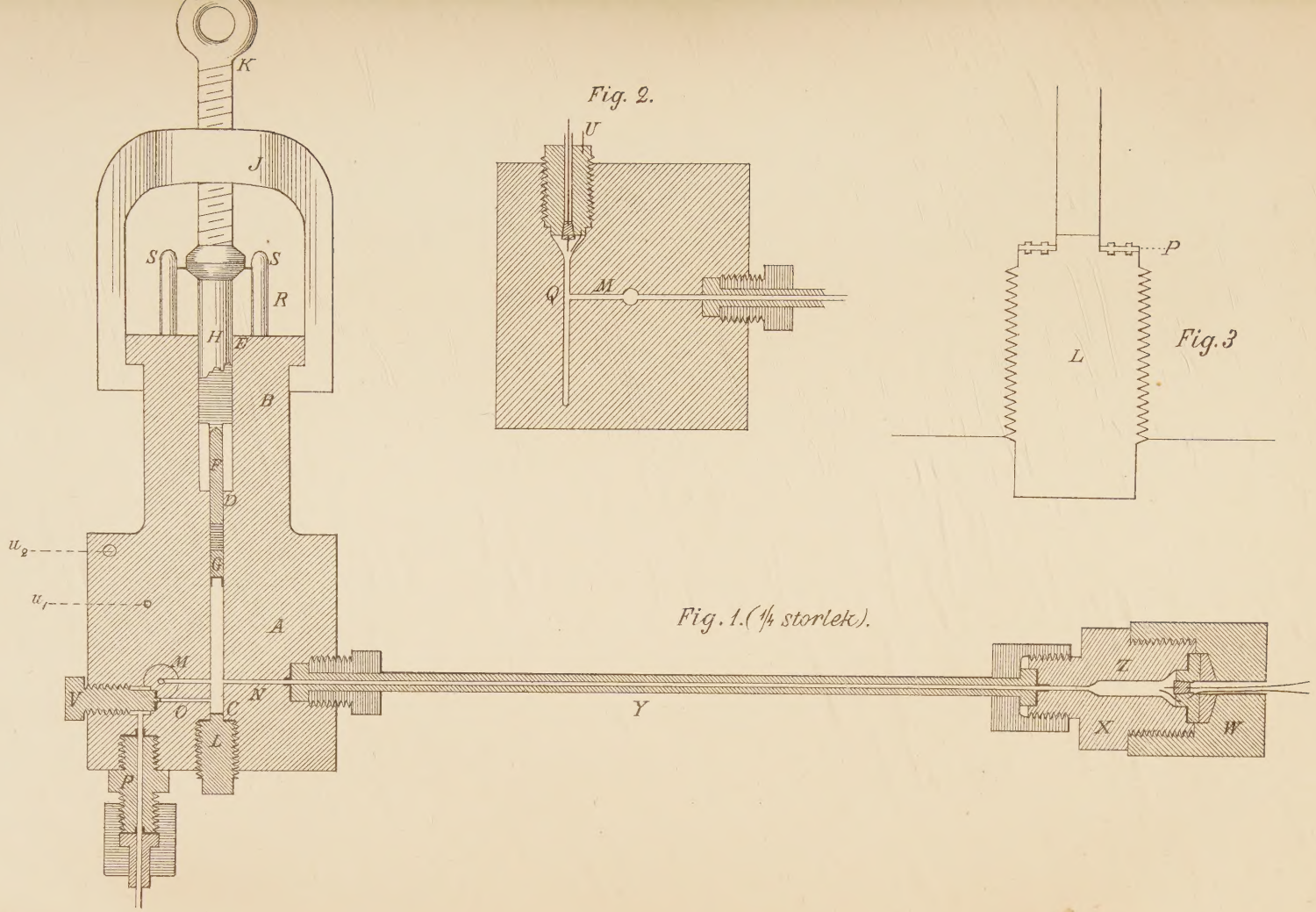


Fig. 1. (¼ storlek).

Fig. 2.

Fig. 3

Pl. III.